

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA: INGENIERÍA MECÁNICA

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIERA MECÁNICA**

**TEMA:
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA DESPULPADORA DE CAFÉ PARA
EL RECINTO ESTERO DEL PLÁTANO, PARROQUIA GALERA, CANTÓN
MUISNE, PROVINCIA ESMERALDAS**

**AUTORA:
ANDREA STEFANÍA OLARTE ZAMORA**

**TUTOR:
PABLO MESÍAS ALMEIDA MOLINA**

Quito, marzo del 2016

Cesión de derechos de autor

Yo Andrea Stefania Olarte Zamora, con documento de identificación N°0802485987, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de grado/titulación intitulado: Diseño y construcción de una despulpadora de café para el recinto Estero del Plátano, parroquia Galera, cantón Muisne, provincia Esmeraldas, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera Mecánica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Nombre: Andrea Olarte

Cédula: 0802485987

Fecha: Quito, marzo del 2016

Declaratoria de coautoría del docente tutor

Yo, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación Diseño y construcción de una despulpadora de café para el recinto Estero del Plátano, parroquia Galera, cantón Muisne, provincia Esmeraldas realizado por Andrea Stefania Olarte Zamora, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, marzo del 2016



Pablo Mesías Almeida Molina

CI: 1704359510

Dedicatoria

Este proyecto se lo dedico a Dios y la Virgen de Guadalupe, por mostrarme día a día que con humildad, paciencia y sabiduría todo es posible.

A toda mi familia a mis padres, hermanos, tíos, primos y amigos quienes siempre han estado junto a mí brindándome su apoyo incondicional en todo momento.

En especial a mi abuelita que desde el cielo me ha bendecido y guiado a lo largo de este sueño que hoy se hace realidad.

Agradecimiento

A la Universidad Politécnica Salesiana, por inculcar en mí los conocimientos adquiridos a lo largo de éste arduo camino.

Al Ingeniero Pablo Almeida, por su tiempo y dedicación a este proyecto, por compartir conmigo sus conocimientos para el desarrollo del proyecto.

Índice

Introducción	1
Capítulo 1.....	2
Marco teórico	2
1.1 Generalidades.....	2
1.1.1 Tipos de café	4
1.1.2 Café arábico.	5
1.1.3 Café robusta.	6
1.1.4 Procesamiento del café.....	7
1.1.5 Cereza húmeda.	7
1.1.6 Selección del café.....	8
1.1.7 Despulpado.....	9
1.1.7.1 Pasos para despulpar el café.....	9
1.1.8 Partes de una despulpadora de café.....	11
1.1.9 Tipos de despulpadora de café.	12
1.1.9.1 Despulpadora PE1-D1/ PE1-D2.....	12
1.1.9.2 Despulpadora dos salidas.	14
1.1.9.3 Despulpadora de tres salidas.	15
1.1.9.4 Despulpadora de cuatro salidas.....	16
Capítulo 2.....	18
selección de la máquina	18
2.1 Análisis de factibilidad.....	18
2.2 Formulación de alternativas.	18
2.3 Alternativa 1. Despulpadora vertical.....	19

2.3.1 Descripción.	19
2.3.2 Ventajas.....	20
2.3.3 Desventajas.	20
2.4 Alternativa 2. Despulpadora horizontal de tambor.	20
2.4.1 Descripción.	20
2.4.2 Ventajas.....	21
2.4.3 Desventajas.	22
2.5 Alternativa 3. Despulpadora de disco.	22
2.5.1 Descripción.	22
2.5.2 Ventajas.....	23
2.5.3 Desventajas.	23
2.6 Selección de alternativa.....	24
2.6.1 Evaluación.....	24
2.6.2 Facilidad de construcción.....	24
2.6.3 Costos.....	24
2.6.4 Facilidad de montaje y desmontaje.	25
2.6.5 Facilidad de mantenimiento.	25
2.6.6 Seguridad.	25
Capítulo 3.....	27
Cálculo y diseño de los elementos	27
3.1 Generalidades.....	27
3.2 Diseño geométrico de la tolva.....	27
3.3 Selección de la plancha de la tolva.	29
3.4 Volumen de la tolva.	30
3.5 Cálculo del peso del grano del café.....	31

3.5.1 Volumen del grano del café.	32
3.5.2 Cantidad de granos de café que entran en la tolva.	33
3.5.3 Peso de los granos de café.	33
3.5.4 Carga que ingresa en la tolva.	33
3.6 Cálculo de la fuerza distribuida.	33
3.7 Potencia total del trabajo.	34
3.7.1 Fuerza del despulpado.	37
3.7.2 Calculo de la velocidad tangencial.	37
3.8 Selección del motor.	39
3.9 Selección de la correa.	40
3.9.1 Selección y cálculo de los diámetros de las poleas.	41
3.10 Distancia entre centros de poleas.	42
3.11 Longitud primitiva de la correa.	42
3.12 Arco de contacto de la polea conductora.	44
3.13 Número de correas.	45
3.14 Velocidad de la correa.	45
3.15 Angulo de abrazamiento de la polea conducida.	46
3.16 Tensiones en la polea.	47
3.17 Cálculo de reacciones en el eje cuadrado.	49
3.17.1 Momentos resultantes.	53
3.18 Diseño del eje.	53
3.18.1 Diseño estático del eje.	54
3.18.2 Diseño del tambor.	55
3.18.3 Cálculo de la longitud del tambor.	56
3.19 Selección del sistema de transmisión.	57

3.19.1 Cálculo de la cadena y piñones.	59
3.19.2 Calculo de la longitud de la cadena.....	64
3.19.3 Diámetro primitivo del piñón.....	64
3.20 Acople de la camisa al tambor.	66
3.20.1 Acople mediante soldadura de puntos.....	66
3.20.2 Acople mediante clavos y tacos de caucho o madera.	67
3.20.3 Acople mediante perno y tuerca.....	67
3.20.4 Cálculo de la longitud de la camisa.....	69
3.21 Diseño del pechero.....	70
3.21.1 Regulación del pechero.	72
3.22 Calculo de los esfuerzos en las barras de sujeción.....	72
3.23 Diseño estructural para la mesa.....	75
3.23.1 Placa base para el motor.....	75
3.23.2 Análisis de cargas.....	76
Capítulo 4.....	79
Capacidad de producción, análisis de costos, funcionamiento de la máquina.....	79
4.1 Generalidades.....	79
4.2 Capacidad de producción.	79
4.2.1 Resultados obtenidos en las pruebas.	79
4.3 Costos.....	80
4.3.1 Generalidades.....	80
4.3.2 Costos directos.	81
4.3.3 Elementos normalizados.	83
4.3.4 Costos de mano de obra.	83
4.3.5 Costo de montaje.....	84

4.4	Costo total directo.	84
4.5	Costos indirectos.	85
4.5.1	Gastos Varios.	86
4.6	Costo total indirecto.	86
4.6.1	Valor total de la máquina.	87
4.6.2	Mantenimiento de los elementos de la máquina.	87
4.7	Manual de operación.	91
4.7.1	Introducción.	91
4.7.2	Seguridad.	92
4.7.3	Verificación del grano y la máquina.	92
	Conclusiones	95
	Recomendaciones.....	96
	Referencias.....	97

Índice de figuras

Figura 1. Café.....	3
Figura 2. Estructura del café.	4
Figura 3. Café arabia.	6
Figura 4. Café robusto.....	7
Figura 5. Selección de café.	9
Figura 6. Pasos para despulpar el café.	10
Figura 7. Partes de una despulpadora de café.	11
Figura 8. Despulpadora PE1-D1/PE1D2.....	13
Figura 9. Despulpadora de dos salidas.	14
Figura 10. Despulpadora de tres salidas.....	15
Figura 11. Despulpadora de cuatro salidas.	16
Figura 12. Despulpadora vertical.	19
Figura 13. Despulpadora horizontal de tambor.....	21
Figura 14. Despulpadora de disco.....	23
Figura 15. Dimensiones de una plancha.	28
Figura 16. Dimensiones de la tolva.....	29
Figura 17. Gráfico de la tolva.	30
Figura 18. Dimensiones de la tolva.....	30
Figura 19. Grafico del grano del café.....	32
Figura 20. Gráfico de la fuerza distribuida.	34
Figura 21. Máquina de compresión.....	35
Figura 22. Ensayo en la máquina de compresión.....	36
Figura 23. Medidas del tambor.	38

Figura 24. Representación de la velocidad tangencial.	39
Figura 25. Distancia entre ejes.	41
Figura 26. Angulo de abrazamiento.	46
Figura 27. Tensiones de las poleas.	48
Figura 28. Reacciones en el eje cuadrado.	50
Figura 29. Diagrama de momento en plano X-Y.	51
Figura 30. Reacciones en el plano X-Y.	52
Figura 31. Diagrama de momentos en el plano X-Z.	52
Figura 32. Reacciones en el plano X-Z.	53
Figura 33. Longitud del tambor.	56
Figura 34. Trasmisión de cadena.	59
Figura 35. Partes de una cadena de rodillos.	60
Figura 36. Presentación de cadenas.	61
Figura 37. Dimensiones de cadenas de rodillos simples.	62
Figura 38. Acople de soldadura por puntos.	66
Figura 39. Acople de clavos y tacos de madera.	67
Figura 40. Acople de perno y tuerca.	68
Figura 41. Acople perno y tuerca (Cilindro de la despulpadora)	69
Figura 42. Diseño del pechero.	70
Figura 43. Dimensiones de los canales del pechero.	71
Figura 44. Regulación del pechero.	72
Figura 45. Barras de sujeción.	73
Figura 46. Mesa de la máquina.	76
Figura 47. Interruptor.	78
Figura 48. Tolve.	89

Figura 49. Bandas.	90
Figura 50. Tambor.....	90
Figura 51. Despulpadora de café.....	91
Figura 51. Granos maduro (Cereza).....	93
Figura 52. Despulpadora funcionando.	94

Índice de tablas

Tabla 1. Partes de la despulpadora.....	11
Tabla 2. Datos técnicos de la despulpadora PE1-D1/PE1-D2.	13
Tabla 3. Datos técnicos despulpadora de dos salidas.....	14
Tabla 4. Datos técnicos despulpadora de tres salidas.	15
Tabla 5. Datos técnicos despulpadora de tres salidas.	17
Tabla 6. Alternativas.	26
Tabla 7. Tabla de esfuerzos.....	27
Tabla 8. Diámetros y peso del grano de café.	31
Tabla 9. Resultados del laboratorio.....	36
Tabla 10. Longitud primitiva nominal.	43
Tabla 11. Dimensiones de cadenas de rodillos simples	63
Tabla 12. Piñones para cadenas simples.	65
Tabla 13. Pruebas de café.....	80
Tabla 14. Costos de materiales directos.....	82
Tabla 15. Costos de elementos normalizados.	83
Tabla 16. Costos de maquinado.	84
Tabla 17. Costos total directo.	85
Tabla 18. Costos de materiales directos.....	86
Tabla 19. Total directo.	86
Tabla 20. Costo total.	87

Índice de anexos

Anexo 1. Especificaciones generales de las planchas de acero inoxidable.....	100
Anexo 2. Factor de servicio para motores(Fs)	102
Anexo 3. Servicios de correas.....	104
Anexo 4. Corrección de potencia para correas.....	105
Anexo 5. Capacidad básica de las correas.	106
Anexo 6. Coeficiente de fricción.	107
Anexo 7. Características de ejes de acero	108
Anexo 8. Factores de seguridad N	110
Anexo 9. Resultados de las cargas en la mesa con el programa de Inventor.....	111
Anexo 10. Conductores para alimentar a un motor.....	112
Anexo 11. Materiales de la despulpadora.	113
Anexo 12. Preparación de la mesa para el motor.....	113
Anexo 13. Colocación de las barras de sujeción en los castillos.	114
Anexo 14. Sujeción de las tuercas en los castillos.	114
Anexo 15. Colocación de la polea en el cilindro.	115
Anexo 16. Colocación de los castillos, bandas, cadenas.....	115
Anexo 17. Despulpadora de café ensamblada.....	116
Anexo 18. Tabla de mantenimiento de la despulpadora de café.....	117
Anexo 19. Tabla de tolerancia	118
Anexo 20. Glosario	119

Resumen

El presente trabajo tiene como finalidad mejorar la producción de café en el campo agrícola, implementando una máquina despulpadora.

Actualmente en la Provincia de Esmeraldas en el Recinto Estero de Plátano, las mujeres se dedican a sembrar y cosechar café para venderlo en el mercado a un precio insignificante. En el proceso de despulpado las personas hacen grandes esfuerzos físicos y ocupan mayor tiempo.

Analizando las alternativas de máquinas que existen, se seleccionará y construirá la que cumple con las necesidades del agricultor, reduciendo costos, tiempo y esfuerzo físico además incrementar la producción. Con una maquina a motor sería de gran ayuda para los pobladores de este Recinto.

Se calcula la potencia necesaria para despulpar, partiremos de la fuerza que necesita para desprender la cascara de la semilla estas pruebas se hicieron en el laboratorio de resistencia de materiales con la máquina de compresión. Una vez teniendo estos resultados se selecciona un motor adecuado que no destruirá la semilla, después las bandas con sus respectivas tensiones.

Con las catalinas y las cadenas se disminuirá la velocidad para el despulpado, teniendo en cuenta que el despulpado se da en el tambor y el pechero.

Por este motivo se construye este tipo de máquina despulpadora garantizando un crecimiento a las pequeñas y medianas empresas que se dedican a este negocio.

Abstract

This paper aims to improve coffee production in agriculture, implementing a pulping machine.

Actually in Esmeraldas in the "Estero de Platano" enclosure the women are engaged in planting and garceta the coffee to sell it on cherry really cheap. In the pulping process people do heavy physical exertion and take longer.

Analyzing alternatives exist machines that will select and build that meets the needs of farmers, reducing costs, time and physical effort further increase production. With a power tool would be of great help to the residents of this town.

The power required for pulping is calculated start from the strength he needs to release the seed coat these tests were conducted in the laboratory of material resistance to compression machine. Once you are having these results a suitable motor not destroy the seed is selected, then the bands with their respective voltages.

With sprockets and chains for pulping speed it is decreased, considering that occurs in the pulping drum and pechero.

By this it's going to design and build this kind of machines is built creating sustainable growth for small and medium enterprises engaged in this business.

Introducción

La producción agrícola tiene como objetivo desarrollar tecnología, ayudando al consumidor a crecer en niveles de producción y productividad, los productores se ven obligados a crear e innovar nuevas máquinas en el mercado, ofreciendo productos de calidad para su economía.

El objetivo de este trabajo de investigación es diseñar y construir una despulpadora de café con facilidad de manejo y fácil mantenimiento. Además con mayor producción de despulpado para así mejorar el ingreso de las personas que se dedican a la agricultura.

Actualmente estas máquinas de despulpado son manuales las cuales requieren un mayor esfuerzo físico de los operadores, sabiendo que desde la cosecha, el agricultor hace esfuerzo ya que debe escoger grano por grano y revisar que este de color rojo (fruto maduro).

Se investigará el proceso de despulpado de café su dureza, estructura y forma. Este tipo de árbol se siembra en zonas húmedas las cuales no pueden recibir tanto sol, siempre deben de estar en sombra; existen dos tipos de café el robusto y el árabe. El robusto se cosecha todo el año mientras que el árabe solo se da en los meses de julio y agosto.

La despulpadora seleccionada ayudará a alcanzar una producción de 400 kg/h, con fácil manejo, facilidad de transportarla además se diseñara con un motor para disminuir el esfuerzo físico de la persona.

Capítulo 1.

Marco teórico

1.1 Generalidades

Café

Definición: Se define a la semilla de color amarillo derivada del árbol cafeto, perteneciente a la familia de las Rubiáceas y al género coffea. Existen dos tipos de coffea que son coffea Arábica y coffea Robustica.

El café se lo siembra únicamente en zonas húmedas en sitios que reúnen condiciones especiales de suelo como: temperatura, altitud, radiación solar. Los suelos que son ricos en minerales son perfectos para sembrar café.

El café se desarrolla durante nueve meses para que aparezcan sus primeras flores, la cereza cambia de color verde a color rojo en ese color se lo puede considerar maduro listo para recolectar (cosechar). Estas cerezas se forman en racimos unidos en las ramas del tallo del árbol.

Café



Figura 1. Café maduro en cereza

Fuente: (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2010)

La cereza o Baya comprende una piel (exocarpio), en su evolución se cubre la pulpa (mesocarpio) de naturaleza mucilaginosa, dentro de ella contiene dos semillas pegadas por su parte plana envueltas por una capa de coloración amarilla conocida por pergamino y finalmente recubierto por una membrana delgada de tonalidad plateada.(ver figura 2)

Estructura del café.

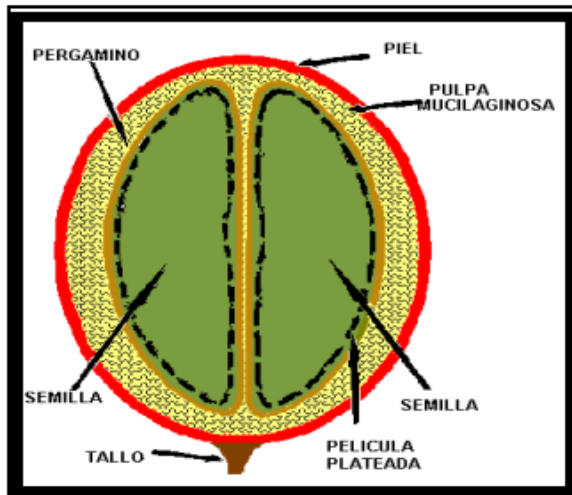


Figura 2. Descripción de capas del café.

Fuente: (Instituto interamericano de cooperacion para la agricultura, 2010)

1.1.1 Tipos de café

En el Ecuador se empieza a cultivar el café en el año de 1830 en la provincia de Manabí. El árbol de café es un arbusto de 6 a 8 m de altura, pero que por poda se mantiene en 2 m. Estos arbustos requieren temperaturas elevadas (18 °C a 24°C) y una humedad atmosférica importante. (SIBONEY, Cafés, 2013)

Estas plantas necesitan de sombra las cuales hay que proteger de los vientos, el sol, temperaturas muy bajas. La cosecha de este producto se da únicamente mano de obra el agricultor que obliga a pasar varios días y varias veces en el mismo árbol teniendo que seleccionar las cerezas maduras este es uno de los factores principales para el café

Alrededor del mundo se encuentran más de 20 clases de café, pero en nuestro país encontramos dos clases: el café arábico y el café robusto.

Café arábico: esta clase de café se originó en Arabia, tiene como principal característica de mejor sabor, actualmente se cultiva en zonas montañosas.

Café robusto: este fue descubierto en África, se cultiva en zonas amazónicas tropicales húmedas. (Jumbo Jima & Cabrera solorzano, 2010)

El café se clasifica en términos comerciales en cuatro grupos:

- Arábicos (25% del mercado);
- Robusta (30% del mercado).

1.1.2 Café arábico.

Este árbol crece 12 m de altura con el cultivo y podándolo llega hasta los 4,5 m, sus hojas son verdes brillantes y flores blancas. Esta clase de café se cosecha únicamente en el mes de junio y julio.

Café arabia.



Figura 3. Planta del café aravico.

Fuente: (Botanica-online, 2015)

1.1.3 Café robusta.

Este árbol llega a medir hasta unos 10 m de altura, este no necesita cultivos especiales, necesita temperaturas elevadas entre 24 y 30°C. Esta se da más plantas y su cosecha se puede dar en todos los meses del año su semilla es más ovalada y su contenido de cafeína es más alto y un sabor amargo que el arábico.

Café robusto.



Figura 4. Planta de café robusto.

Elaborado por: Andrea Olarte

1.1.4 Procesamiento del café.

El café se lo somete a una serie de operaciones que consisten en el despulpado del cafeto que se realiza con la cereza húmeda por medio de la maquina despulpadora, quitándole una parte del pergamino una vez que pase de esta operación se procede a la fermentación donde se quita totalmente el pergamino, después queda listo para procesarlo o exportarlo.

1.1.5 Cereza húmeda.

Se debe recolectar la cereza húmeda y el mismo día despulpar ya que pasado las 24 horas, el mucilago empieza a decolorarse por oxidación y puede mancharse el pergamino. Las semillas frescas se encuentran cubiertas por una capa de mucilago (goma o baba) estas después del despulpado deben fermentarse sumergirlas totalmente

en agua. Dependiendo de la temperatura del lugar a mayor temperatura menos tiempo de fermentación.

Después del despulpado y escurrido posee contenido de humedad del 52% y 55% el cual es extraído en el proceso de secado.

- **Humedad inicial del grano.**

Este factor se debe controlar para su conservación. Este valor debe de ser entre un 10% y 12% para evitar el crecimiento de moho, los mismos dependen de la humedad y temperatura del medio que los rodea.

- **Humedad relativa y temperatura.**

El almacenamiento se hace a temperaturas inferiores de 20 °C y humedades relativas entre 50% y 70%. La variación de la humedad relativa y temperatura generan procesos de desorción.

1.1.6 Selección del café.

Se debe seleccionar las cerezas maduras de color rojo. Las cerezas verdes se las debe dejar en el árbol, también se encontraran cerezas negras las cuales están secas esas se deben apartar. La vista es el principal elemento que se necesita para la recolección de las cerezas maduras.

Selección de café.



Figura 5. Para seleccionar la cereza madura se lo hace manualmente.

Fuente: (Asociacion Nacional del café, 2011)

1.1.7 Despulpado.

Después de seleccionar y cosechar el café se procede al despulpado. Esta operación consiste en el desprendiendo de la cascara de la semilla, se realiza por medio de una máquina despulpadora de café, donde el despulpado se da entre dos ejes un fijo y uno móvil. El tambor (eje móvil) y el pechero (eje fijo).

1.1.7.1 Pasos para despulpar el café.

Pasos para despulpar el café.

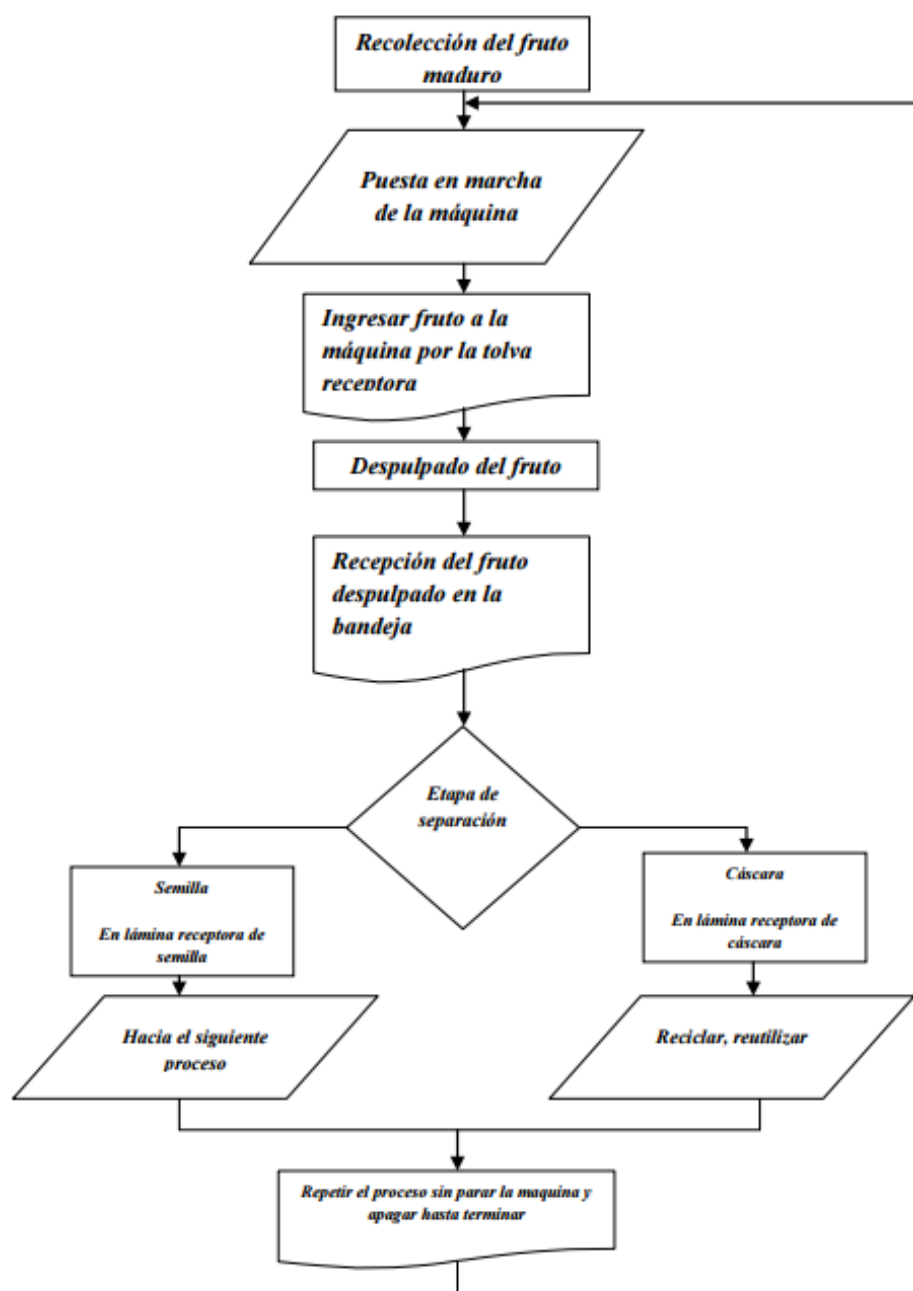


Figura 6. Mapa conceptual con los pasos para llegar al despulpado.

Fuente: (Paredes Acevedo & Fuentes, 2011)

1.1.8 Partes de una despulpadora de café.

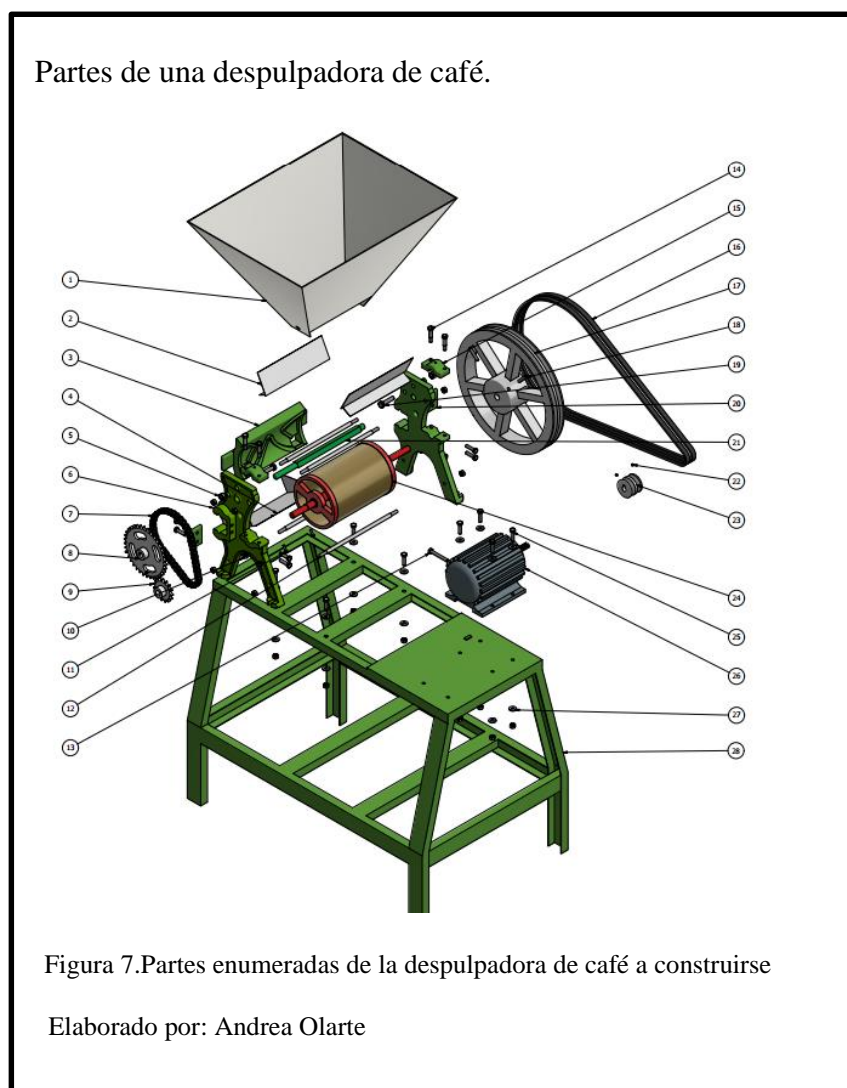


Tabla 1.

Partes de la despulpadora

#	Descripción	Cantidad
1	Tolva	1
2	Placas de la tolva	2
3	Pechera	1
4	Placas de descarga	1
5	Tuerca M10	2
6	Castillo	2
7	Cadena 428Hx22	1
8	Piñón Z36	1
9	Piñón Z15	1

10	Tuerca M8	24
11	Perno M5x16	2
12	Varilla roscada d=10	4
13	Perno M8x60	1
14	Perno M8x40	4
15	Soporte Tambor	2
16	Corre trapezoidal 13x8x1575	2
17	Polea d=14"	1
18	Prisionero M8x40	2
19	Perno M10x40	2
20	Soporte Pechera	2
21	Eje cuadrado 15x15x326	1
22	Prisionero M5x5	4
23	Polea d=2"	1
24	Tambor	1
25	Perno M8x30	16
26	Motor monofásico 0,5 HP	1
27	Arandela d=8	16
28	Mesa base	1

Nota: Tabla enumerando las partes de la despulpadora de café y cantidades de piezas que contiene.

Elaborado por: Andrea Olarte

1.1.9 Tipos de despulpadora de café.

A continuación se presentara algunas de las maquinas despulpadora que existen en el mercado, con diferentes números de salidas del producto.

1.1.9.1 Despulpadora PE1-D1/ PE1-D2

Esta máquina despulpa al café separando la pulpa de la cascara, es veloz y no lesiona los granos su productividad es de 17 a 34 kg/h, utiliza 90 litros de agua por hora para el despulpado.

Despulpadora PE1-D1/PE1D2.



Figura 8.Despulpadora manual que se encuentra en el mercado.

Fuente: (Cooperación Alemana al Desarrollo GIZ, 2013)

Tabla 2.

Datos técnicos de la despulpadora PE1-D1/PE1-D2.

Datos técnicos		
Marca	Imsa	
Modelo	PE1-D1	PE1-D2
Potencia (HP)	7	9
Productividad (kg/h)	700	1,700
Productividad qq (46kg)/h	15	37
Voltaje (Voltios)	220 ó 380	
Suministro (1ø o 3ø)	Trifásico	
Vida útil (años)	10	
Peso (kg)	285	340
Para su instalación requiere	Interruptor Termo Magnético de 30 amperios	

Nota: Datos técnicos de la despulpadora, folleto al comprar la máquina.

Fuente: (Cooperación Alemana al Desarrollo GIZ, 2013)

1.1.9.2 Despulpadora dos salidas.

Máquina que despulpa el café se caracteriza por tener dos salidas no lesiona los granos su productividad es de 17 kg/h poco consumo de agua, despulpa con un tambor que se regula de acuerdo al tamaño del grano.

Despulpadora de dos salidas.



Figura 9. Despulpadora de dos salidas manual que se encuentran en el mercado.

Fuente: (Cooperación Alemana al Desarrollo GIZ, 2013)

Tabla 3.

Datos técnicos despulpadora de dos salidas.

Datos técnicos	
Marca	Manufacturas CHURA
Modelo	2 Salidas
Potencia (HP)	1
Productividad (kg/h)	800
Productividad qq (46kg)/h	17
Voltaje (Voltios)	220
Suministro (1ϕ o 3ϕ)	Monofásico
Vida útil (años)	10
Peso (kg)	70

Para su instalación requiere	Interruptor Termo Magnético de 30 amperios
-------------------------------------	--

Nota: Datos técnicos de la despulpadora de dos salidas, folleto que se obtiene al comprar la máquina.

Fuente: (Cooperación Alemana al Desarrollo GIZ, 2013)

1.1.9.3 Despulpadora de tres salidas.

Despulpadora y seleccionadora de granos de café los cuales no se lesionan, funciona con poco consumo de agua contiene tres salidas, su productividad es de 22 kg/h utiliza 90 litros de agua por hora para el despulpado.



Tabla 4.

Datos técnicos despulpadora de tres salidas.

Datos técnicos	
Marca	Manufacturas CHURA
Modelo	3 Salidas
Potencia (HP)	1

Productividad (kg/h)	1,000
Productividad qq (46kg)/h	22
Voltaje (Voltios)	220
Suministro (1ϯ o 3ϯ)	Monofásico
Vida útil (años)	10
Peso (kg)	80
Para su instalación requiere	Interruptor Termo Magnético de 30 amperios

Nota: Datos técnicos de la despulpadora de tres salidas, folleto que se obtiene al comprar la máquina.

Fuente: (Cooperación Alemana al Desarrollo GIZ, 2013)

1.1.9.4 Despulpadora de cuatro salidas.

Máquina despulpadora de café con cuatro salidas no lesiona los granos, poco consumo de agua su productividad es de 26 kg/h, el peso de esta máquina es de 90 kg.

Despulpadora de cuatro salidas.



Figura 11. Despulpadora de cuatro salidas que se encuentran en el mercado.

Fuente: (Cooperación Alemana al Desarrollo GIZ, 2013)

Tabla 5.

Datos técnicos despulpadora de tres salidas.

Datos técnicos	
Marca	Manufacturas CHURA
Modelo	4 Salidas
Potencia (HP)	1
Productividad (kg/h)	1,200
Productividad qq (46kg)/h	26
Voltaje (Voltios)	220
Suministro (1ϕ o 3ϕ)	Monofásico
Vida útil (años)	10
Peso (kg)	90
Para su instalación requiere	Interruptor Termo Magnético de 30 amperios

Nota: Datos técnico s de la despulpadora de cuatro salidas, folleto que se obtiene al comprar la máquina.

Fuente: (Cooperación Alemana al Desarrollo GIZ, 2013)

Capítulo 2

Selección de la máquina

2.1 Análisis de factibilidad.

En este capítulo se seleccionara qué despulpadora diseñar viendo sus ventajas y desventajas, analizando las diferentes alternativas propuestas. A continuación mencionaremos algunos tipos de despulpadora de café.

2.2 Formulación de alternativas.

Para el análisis se considera tres alternativas importantes, que son:

- Despulpadora vertical
- Despulpadora horizontal de tambor
- Despulpadora de disco

Se considera los siguientes factores:

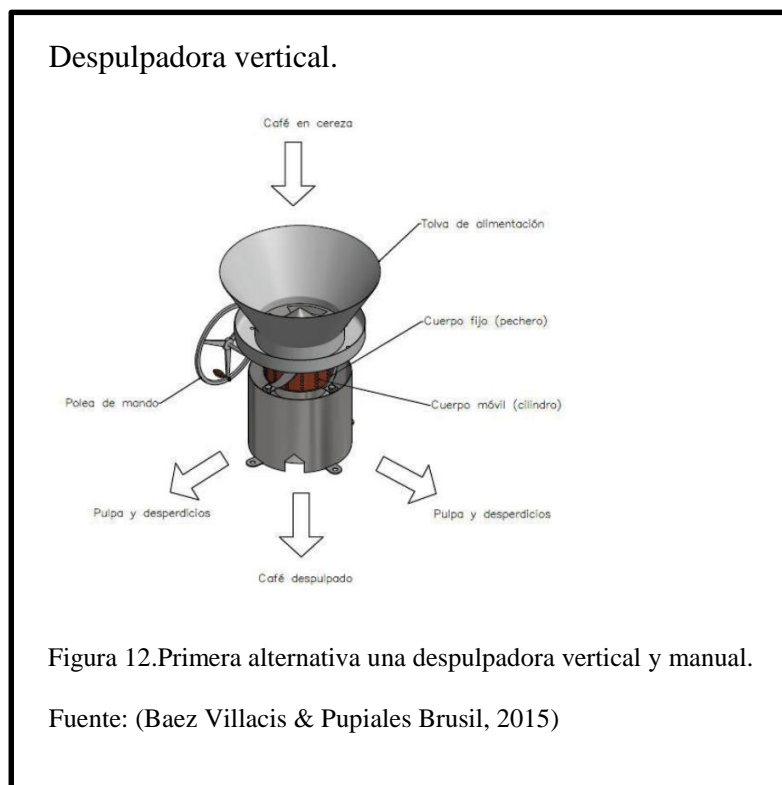
- Facilidad de construcción: por medio de operaciones manuales y con máquinas herramientas.
- Costos
- Facilidad de montaje
- Facilidad de mantenimiento
- Seguridad

2.3 Alternativa 1. Despulpadora vertical.

2.3.1 Descripción.

Esta máquina usa un eje vertical, alrededor de este se encuentran varios pecheros, además parte de un principio para satisfacer la necesidad de realizar un despulpado sin agua de esta manera se logra un despulpado amigable ayudando al ambiente.

Esta maquinaria cumple con una capacidad a despulpar de 2272 kg, una velocidad angular de 500 rpm, y usa una potencia de 2 HP.



2.3.2 Ventajas.

- Este tipo de máquina pueden despulpar grandes cantidades de café aproximadamente 200 kg/h hasta 10 Ton/h por lo que es apta para grandes y pequeñas industrias.
- Esta máquina funciona manualmente, beneficia aquellos productores donde la energía eléctrica es escasa , aunque existe la posibilidad de adaptar un motor y se suprime el trabajo del hombre
- La eficiencia de esta máquina es alta aproximadamente de 98% lo que la hace apta para despulpar con menor daño posible
- Algo importante es el beneficio que tiene al despulpar no necesita agua y ayuda al medio ambiente.

2.3.3 Desventajas.

- Su tipo de giro es vertical debido a su eje, es necesario la implementación de un mecanismo para la transformación de movimiento dificultando su diseño y mantenimiento de la máquina.
- El movimiento del eje vertical obliga a los granos de café a salir de la máquina debido las fuerzas centrifugas.

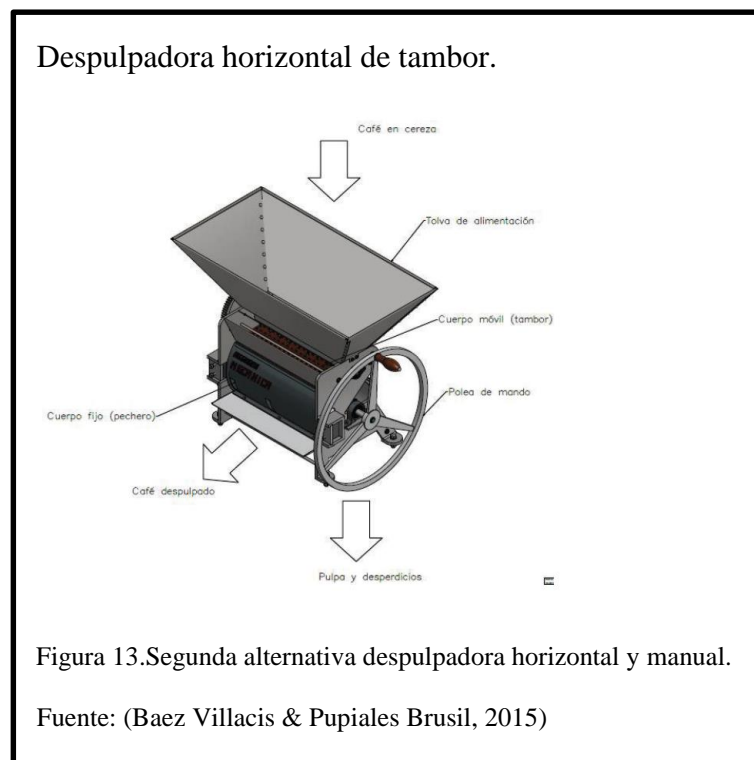
2.4 Alternativa 2. Despulpadora horizontal de tambor.

2.4.1 Descripción.

Al igual que la despulpadora vertical, esta hace compresión para producir el despulpado de los granos de café, se produce mediante dos eslabones uno fijo que es

el pechero y uno móvil el tambor, además mediante unos pernos se puede regular el pechero según el tamaño de grano.

Este tipo de máquina se la puede usar con agua o sin agua su rendimiento aproximado es de 95%, trabaja con capacidades del operario (60 rpm; 1,1 HP), y diferentes modelos en su variedades de salida de la pulpa del café.



2.4.2 Ventajas.

- Este tipo de máquina son las más vendidas en el mercado por la cual el agricultor está familiarizado y tiene un buen acogimiento este diseño.
- La máquina es fácil de manejar, no existe complejidad en el diseño, no existen cambios de movimientos del eje como en el caso anterior.

- Se trata de una despulpadora ecológica ya que trabaja en seco, su funcionamiento puede ser manual o automático y puede ser usado hasta por amas de casa.

2.4.3 Desventajas.

- Este tipo de despulpadora usa piezas hechas con fundición lo cual eleva su peso y la convierte en una maquina estacionaria.
- Existen inconveniente en el diseño uno de ellos es el pechero ya que su forma geométrica es un poco compleja, la cual se justificaría para la producción de máquinas en serie.

2.5 Alternativa 3. Despulpadora de disco.

2.5.1 Descripción.

El principio de esta máquina para realizar el despulpado comprende de dos cuerpos, un móvil que posee una forma circular y se encarga de trasladar los granos de café hacia otro cuerpo fijo, en el cambio de sección hace que se produzca la compresión para el despulpado, además se puede regular este cuerpo fijo para cualquier tamaño de grano. Su rendimiento es mucho mayor a comparación de las maquinas anteriores, con el uso progresivo tienen a desgastarse las cuchillas reduciendo su rendimiento.

Despulpadora de disco.

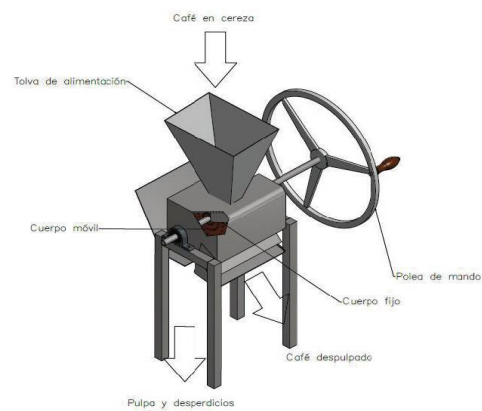


Figura 14. Tercera alternativa una despulpadora de disco y manual.

Fuente: (Baez Villacis & Pupiales Brusil, 2015)

2.5.2 Ventajas.

- A comparación de las maquinas anteriores su eficiencia es mayor, y por ello mismo se puede mantener el control del desgaste del cuerpo móvil
- Una gran ventaja es que su diseño es sumamente fácil y comprensible por ende el mantenimiento de esta máquina también lo será.

2.5.3 Desventajas.

- La regulación de esta máquina es un poco complicada ya que cada cuerpo debe regularse por separado, de acuerdo al tamaño del grano de café y esto se toma mucho más tiempo a comparación con las máquinas mencionadas anteriormente.
- Este modelo de máquina contiene fallas como: excesivo cascaneo, granos mordidos, mezcla de granos con pulpa entre otros, de acuerdo al manual se pueden corregir estas fallas con el tiempo.

2.6 Selección de alternativa.

2.6.1 Evaluación.

Para una correcta selección de la maquina a diseñar se consideran los parámetros enunciados en la formulación de las alternativas. Todos estos parámetros están ponderados con un valor de 10/10.

2.6.2 Facilidad de construcción.

La máquina despulpadora de café está formada por piezas que se elaboran en un taller, en talleres de fundición. El costo de la maquina va disminuyendo al considerar que no se requiere de herramientas especiales ni mano de obra altamente calificada.

Fácil: Valor de: 9

Medio: Valor de: 6

Difícil: Valor de: 3

2.6.3 Costos.

En costos encontramos, construcción y mano de obra, además involucra un factor donde la máquina sea más competitiva en el mercado con otras similares y disponibles.

Fácil: Valor de: 8

Medio: Valor de: 5

Difícil: Valor de: 4

2.6.4 Facilidad de montaje y desmontaje.

Se realiza al momento de encender la máquina y la facilidad de transportarla de un lugar a otro, además utilización de herramientas manuales.

Fácil: Valor de: 7

Medio: Valor de: 4

Difícil: Valor de: 2

2.6.5 Facilidad de mantenimiento.

El agricultor debe pasar una evaluación para que pueda realizar su propio mantenimiento, sin requerir de técnicos especializados.

Fácil: Valor de: 9

Medio: Valor de: 7

Difícil: Valor de: 5

2.6.6 Seguridad.

La máquina tiene un factor de seguridad por lo que es de vital importancia brindarle al operador cuando enciende o apaga la maquina en un caso de emergencia.

Fácil: Valor de: 10

Medio: Valor de: 5

Difícil: Valor de: 3

Tabla 6.

Alternativas.

Criterios de Comparación	FACTOR DE CALIFICACION / ALTERNATIVAS						
	Ponderación	Fácil	Medio	Difícil	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
Facilidad de construcción	9	9	6	3	6	3	9
Costos	7	8	5	4	4	8	4
Facilidad de montaje y desmontaje	5	7	4	2	7	7	7
Facilidad de mantenimiento	4	7	3	1	1	3	7
Seguridad	10	10	5	3	5	10	5
TOTAL					23	31	25
ALTERNATIVA SELECCIONADA						ALTERNATIVA 2	

Nota: Tabla para seleccionar la alternativa más alta considerando una ponderación alta en su construcción y seguridad.

Elaborado por: Andrea Olarte

El resultado de la evaluación de alternativas que se muestra en la tabla 6, dio como puntuación mayor la alternativa 2 (Despulpadora horizontal de tambor) en comparación de las demás alternativas, tomando como prioridad su costo y seguridad para el agricultor.

Capítulo 3

Cálculo y diseño de los elementos

3.1 Generalidades

El presente capítulo muestra los cálculos para el diseño y dimensionamiento de las partes de la maquina despulpadora de café, en las cuales se seleccionara el tipo de material a utilizarse.

Se empieza con el dimensionamiento y selección del tipo de material a utilizarse en la tolva.

3.2 Diseño geométrico de la tolva.

A continuación se calcula el espesor a usarse para la placa de la tolva.

Tomamos la fórmula para placa empotrada.

Tabla 7.

Tabla de esfuerzos.

η	Centro de la placa		Centro lado mayor	\angle
	Φ_x	Φ_y	$\Phi_y \text{ max}$	
1	0,53	0,53	1,24	0,225
1,5	0,48	0,88	1,82	0,394
2	0,31	0,94	1,92	0,431
∞	0,30	1,00	2,00	0,455

Nota: Tabla para seleccionar los esfuerzos en X, Y y el esfuerzo máximo que va a soportar la plancha.

Fuente: (Arrizabalaga, 2004)

Una placa de acero inoxidable AISI 304 de 1220x2440 mm.

Dimensiones de una plancha.

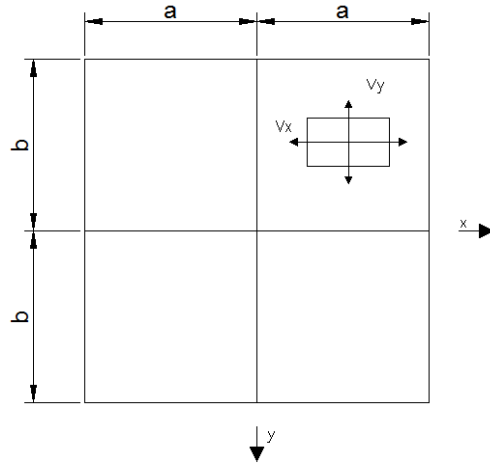


Figura 15. Dimensiones de una plancha de acero inoxidable que se encuentra en el mercado.

Elaborado por: Andrea Olarte

Relación entre dimensiones principales:

$$\eta = \frac{a}{b}$$

$$\eta = \frac{120}{60} = 2$$

Tensión reducida:

$$\sigma_t = \sigma_y \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2} - \sigma_x \sigma_y$$

$$\sigma_t = 0,94 \sqrt{0,31^2 + 0,94^2} - 0,31 \times 0,94$$

$$\sigma_t = 0,94 \sqrt{0,6883}$$

$$\sigma_t = 0,78$$

Para placa empotrada (por ejemplo, soldada en todo su contorno):

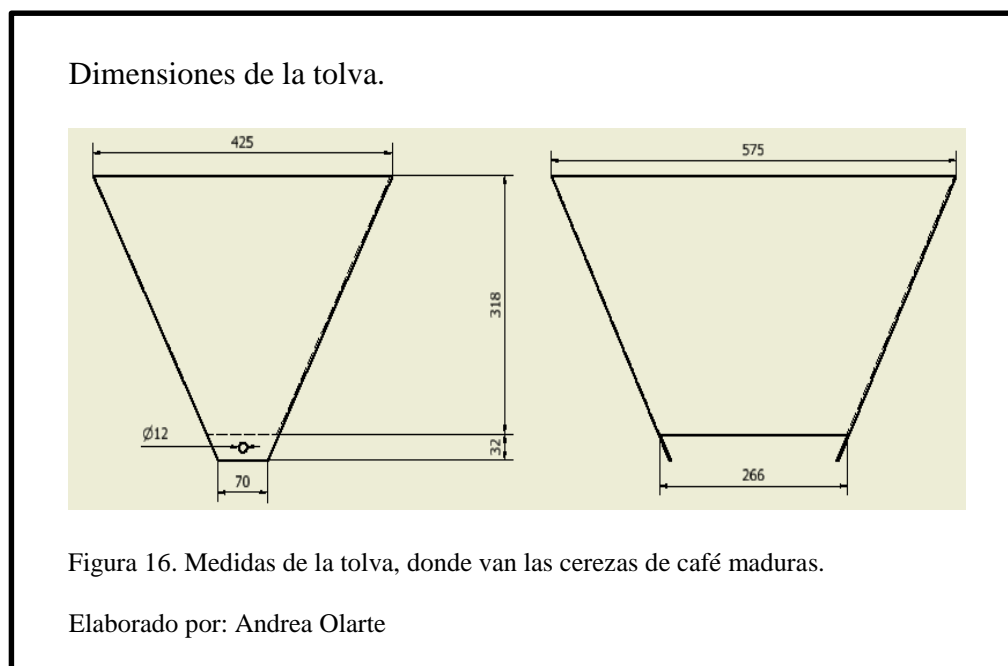
$$e = \sqrt{\frac{\phi_y q b^2}{\sigma_y}}$$

$$e = \sqrt{\frac{0,77 (0.015) (60)^2}{4689}}$$

$$e = 0,094 \text{ cm}$$

$$e = 0,94 \text{ mm}$$

Según la selección de la máquina a construir es: una despulpadora de dos salidas con una capacidad de 37 kg se estima las siguientes dimensiones para el diseño de la tolva que se puede apreciar en el gráfico:



3.3 Selección de la plancha de la tolva.

Para la selección se considera que la función principal es recolectar granos de café los cuales cada grano tiene un peso insignificante, así utilizando un acero inoxidable AISI 304 para alimentos.

Revisar el manual de acero Dipac (ver anexo 1). Y se toma una plancha de 1220x2440x1 mm.

Gráfico de la tolva.

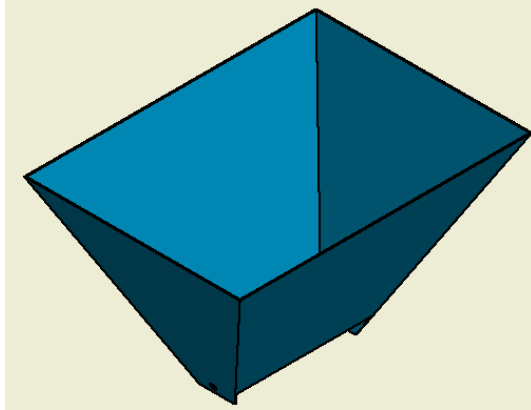


Figura 17. Gráfico de la tolva en 3D.

Elaborado por: Andrea Olarte

3.4 Volumen de la tolva.

Dimensiones de la tolva.

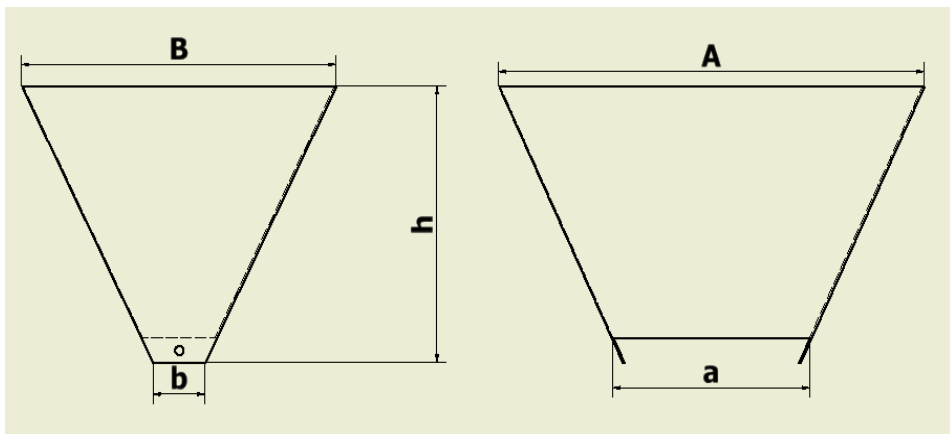


Figura 18. Dimensiones de la tolva para calcular su volumen.

Elaborado por: Andrea Olarte

Para calcular el volumen de la tolva se tomó en cuenta la figura de un obelisco.

$$V_{Tolva} = \frac{h}{6} [(2A + a)B + (2a + A)b] \quad \text{Ec. 1}$$

$$V_{Tolva} = \frac{0,35}{6} [(2(0,57) + (0,24))(0,42) + (2(0,24) + (0,57))(0,11)]$$

$$V_{Tolva} = \frac{0,35}{6} m[(0,5796)m^2 + (0,1155)m^2]$$

$$V_{Tolva} = \frac{0,35}{6} m[0,6951]m^2$$

$$V_{Tolva} = 0,04054m^3$$

3.5 Cálculo del peso del grano del café.

Para el diseño de la máquina se empezara tomando 10 granos de café como muestra, con el calibrador se medirá el diámetro mayor y diámetro menor, su peso se lo obtendrá mediante una balanza. Los resultados se detallan en la tabla e N° 8 .

Tabla 8.

Diámetros y peso del grano de café.

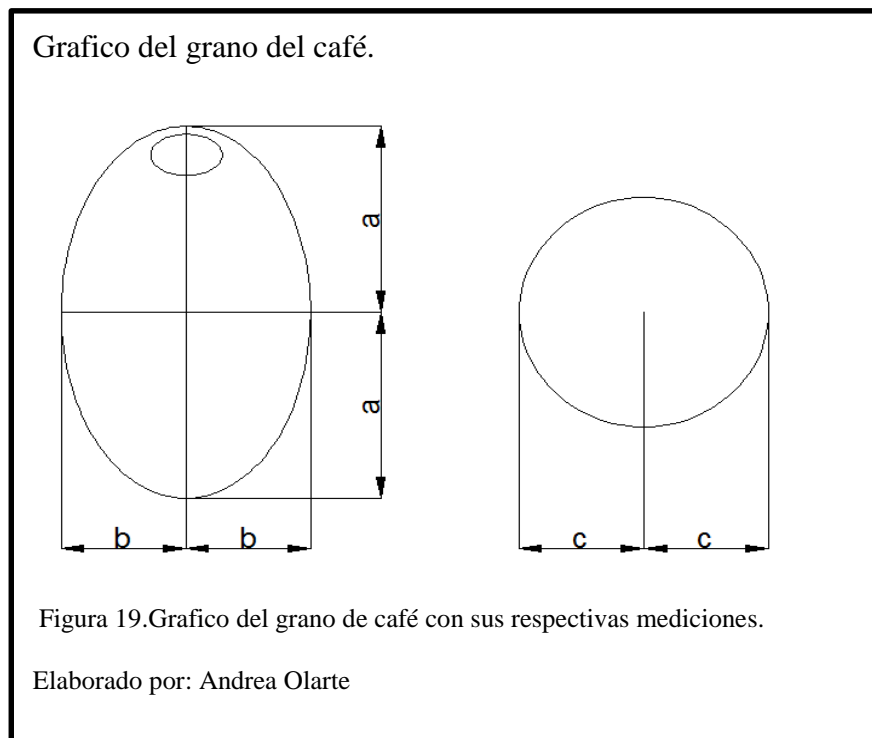
N°	Diámetro mayor (cm)	Diámetro menor (cm)	Peso (gramos)
1	1,7	1,5	1,54
2	1,4	1,3	1,48
3	1,5	1,5	1,50
4	1,6	1,3	1,51
5	1,7	1,5	1,54
6	1,6	1,4	1,52
7	1,7	1,5	1,50
8	1,5	1,4	1,49
9	1,6	1,3	1,51
10	1,6	1,4	1,53
Promedio	1,59	1,41	1,512

Nota: Esta tabla muestras las medidas de los diámetros de la cereza de café y su peso individual y promedio.

Elaborado por: Andrea Olarte

3.5.1 Volumen del grano del café.

Se calcula el volumen del grano de café utilizando los diámetros promedio de las medidas obtenidas en la tabla N°8.



Se toma como referencia el volumen de un elipsoide de revolución.

$$V_{grano} = \frac{4\pi}{3} a \cdot b^2 \quad \text{Ec.0}$$

$$V_{grano} = \frac{4\pi}{3} (0,795) \cdot (0,705^2)$$

$$V_{grano} = 1,655 \text{ cm}^3$$

Volumen de un grano de café:

$$V_{grano} = 1,655 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

3.5.2 Cantidad de granos de café que entran en la tolva.

$$\#_{\text{granos de café}} = \frac{V_{\text{Tolva}}}{V_{c/\text{grano}}} \quad \text{Ec. 3}$$

$$\#_{\text{granos de café}} = \frac{0,04054 \text{ m}^3}{1,65 \times 10^{-6} \text{ m}^3}$$

$$\#_{\text{granos de café}} = 24569 \text{ unidades}$$

3.5.3 Peso de los granos de café.

$$W_{\text{granos de café}} = \#_{\text{granos de café}} \times P_{\text{max.de granos}} \quad \text{Ec. 4}$$

$$W_{\text{granos de café}} = 24569 \times 1,54 \text{ gr}$$

$$W_{\text{granos de café}} = 37836,26 \text{ gr}$$

3.5.4 Carga que ingresa en la tolva.

$$W_{\text{granos de café}} = 37,84 \text{ Kgf}$$

$$W_{\text{granos de café}} = 371,21 \text{ N}$$

3.6 Cálculo de la fuerza distribuida.

El valor obtenido anteriormente es la fuerza que afecta directamente al eje principal (eje cuadrado).

Gráfico de la fuerza distribuida.

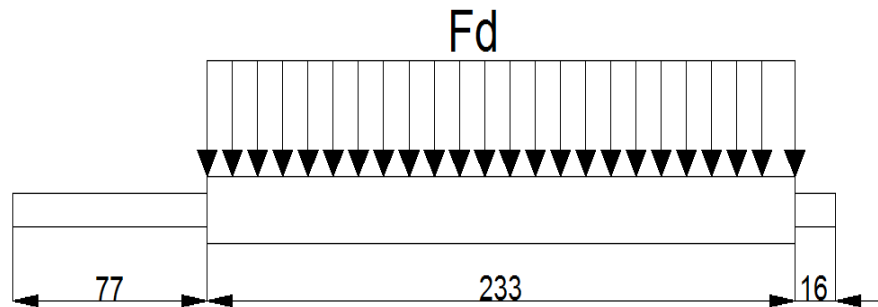


Figura 20. Representación de la fuerza distribuida sobre el eje cuadrado.

Elaborado por: Andrea Olarte

$$F_d = F / 23,30 \text{ cm (Fuerza distribuida)}$$

$$F_d = 371,21 \text{ N} / 23,30 \text{ cm}$$

$$F_d = 15,93 \text{ N/cm}$$

3.7 Potencia total del trabajo.

Para el cálculo de la potencia de trabajo usamos la ecuación (Norton, 2004):

$$N = \frac{F_T \times v}{60 \times 102} \quad \text{Ec. 5}$$

donde: $N = \text{Potencia}$

$F_T = \text{fuerza total para despulpar los granos}$

$v = \text{Velocidad tangencial del tambor}$

Para el cálculo de la fuerza total para despulpar los granos se hizo experimentalmente en el laboratorio de resistencia de materiales en la Universidad Politécnica Salesiana con la máquina de compresión Rimac Spring tester range 350 lb.

Para ello se usaron granos de café en cereza en dos posiciones horizontal y vertical como se indica en la figura:

Máquina de compresión.



Figura 21. Máquina de compresión en la que se hizo las pruebas.

Elaborado por: Andrea Olarte

Ensayo en la máquina de compresión.

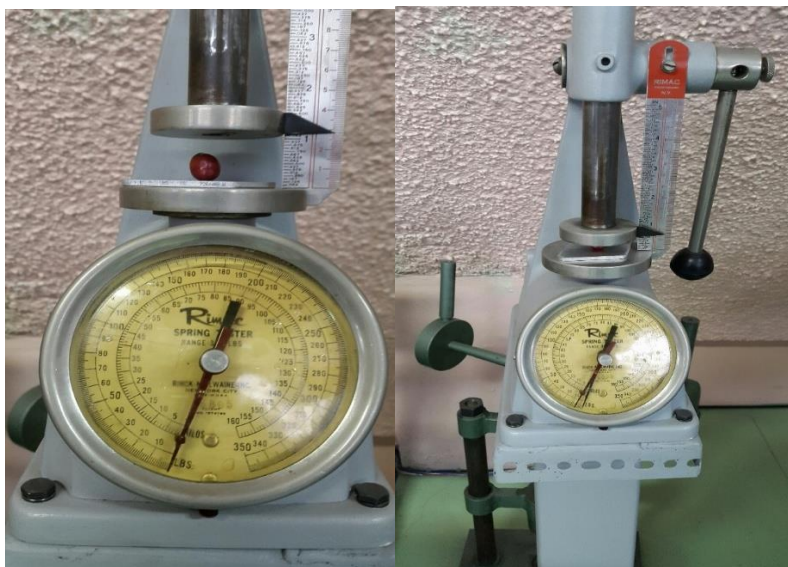


Figura 22. Ensayos con las cerezas de café. Posición vertical y horizontal.

Elaborado por: Andrea Olarte

Tabla 9.

Resultados del laboratorio.

Fruto maduro Horizontal			Fruto maduro Vertical		
N° prueba	Carga (kg)	Carga (N)	N° prueba	Carga (kg)	Carga (N)
1	10	98	1	9	88,2
2	8	78,4	2	7	68,6
3	10	98	3	11	107,8
4	10	98	4	5	49
5	10	98	5	10	98
Promedio	9,6	94,08	Promedio	8,4	82,32

Fruto verde Horizontal			Fruto verde Vertical		
N° prueba	Carga (kg)	Carga (N)	N° prueba	Carga (kg)	Carga (N)
1	12	11,7	1	12	117,6
2	12	11,7	2	10	98
3	13	127,4	3	13	127,4
4	13	127,4	4	14	137,2
5	12	127,4	5	9	88,2
Promedio	12,4	121,52	Promedio	11,6	113,68

Nota: En esta tabla se muestran los resultados del ensayo de compresión de las cerezas de café, en posiciones horizontal y vertical.

Elaborado por: Andrea Olarte

3.7.1 Fuerza del despulpado.

La fuerza de despulpado del café verde es 13 Kgf ver tabla 9.

$$F_t = \text{Fuerza total para despulpar el grano}$$

$$F = 13 \text{ kgf}$$

3.7.2 Calculo de la velocidad tangencial.

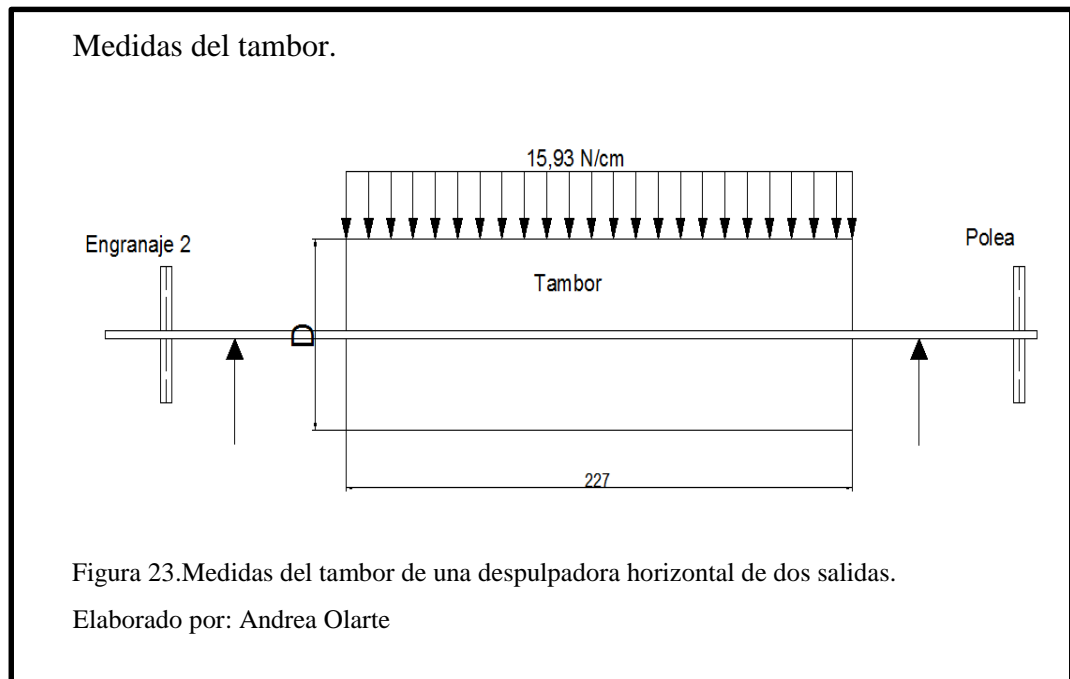
Para el cálculo de la velocidad tangencial usamos la ecuación:

$$v = \frac{(\pi \times D \times \eta)}{1000} \quad \text{Ec. 6}$$

donde : D =Diámetro del tambor

η =Velocidad angular

Con la máquina despulpadora seleccionada se asume el diámetro del tambor.



Datos:

$$D_{tambor} = 14,8 \text{ cm} \left(\frac{10 \text{ mm}}{1 \text{ cm}} \right)$$

$$D_{tambor} = 148 \text{ mm}$$

Velocidad angular con la que trabaja este tipo de máquina va desde 100 rpm hasta 350 rpm se asume:

$$\eta = 300 \text{ rpm}$$

El pechero se ajusta al acercar o alejar el cilindro por medio de dispositivos sencillos según el fabricante. La calibración de los canales a la salida oscila de 6-7 mm y en la entrada del palacio hasta 9 mm de profundidad. La velocidad del cilindro varía desde 100 hasta 350 r.p.m., esto dependerá del tipo y tamaño del despulpador. (Asociación Nacional del café, 2011)

Representación de la velocidad tangencial.

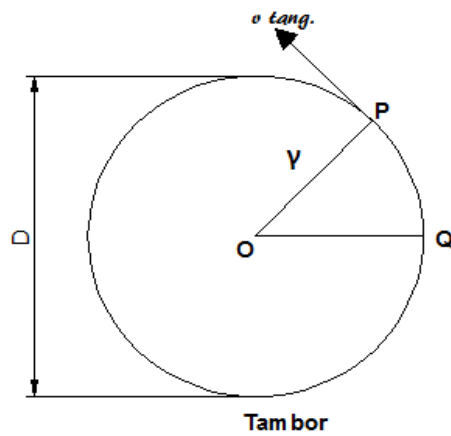


Figura 24. Diagrama donde se representa la velocidad tangencial.

Elaborado por: Andrea Olarte

Reemplazamos en la Ec. 6.

$$v = \frac{(\pi \times 148 \text{ mm} \times 300 \text{ rpm})}{1000}$$

$$v = 139,48 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

Y de la Ec.0-5 tenemos:

$$N = \frac{13 \text{ kgf} \times 139,48 \frac{\text{m}}{\text{min}}}{60 \times 102}$$

$$N = 0,2962 \text{ Kw}$$

$$1 \text{ HP} = 0,746 \text{ Kw}$$

$$N = 0,3971 \text{ HP}$$

3.8 Selección del motor.

Para la selección del motor se necesitara un rendimiento mecánico, un factor de servicio. Teniendo en cuenta situaciones como los numerosos arranques de la

máquina, vibraciones, calentamiento del motor por motivo de prolongación de horas de trabajo. Se recomienda un factor de servicio de 1,5 (ver anexo 2):

$$P_M = \frac{N}{\eta} \times K_s \quad \text{Ec. 7}$$

Dónde: N =Potencia necesaria para despulpar los granos de café

η = Rendimiento mecánico

K_s = Factor de servicio

$$P_M = \frac{0,3971 \text{ HP}}{0,9} \times 1,5$$

$$P_M = 0,66 \text{ HP}$$

Con lo anterior se selecciona un motor de ½ HP disponible en el mercado de 1720 rpm 110/220 V.

3.9 Selección de la correa.

Con la potencia calculada y el motor seleccionado que viene con sus revoluciones con que trabajará la polea menor, se define la sección de correa (ver anexo 3) una correa en V de sección A.

Distancia entre ejes.

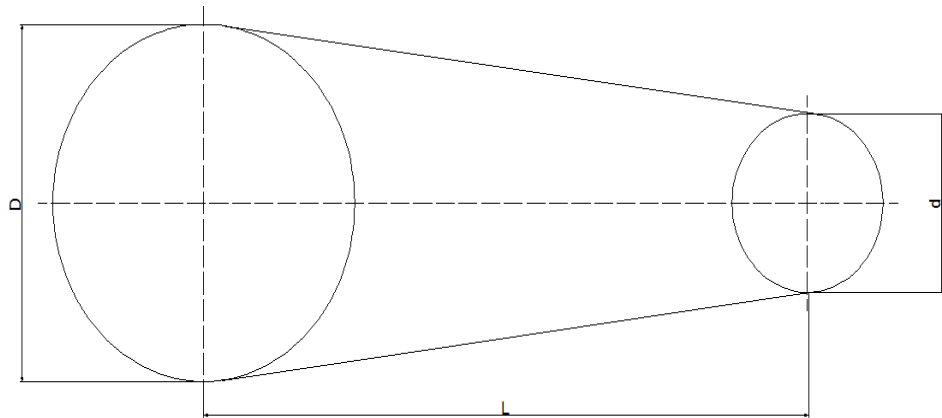


Figura 25. Representación de las medidas de los diámetros de las poleas.

Elaborado por: Andrea Olarte

3.9.1 Selección y cálculo de los diámetros de las poleas.

Con la relación: $n_1 * d = n_2 * D$ se pueden calcular los diámetros de ambas poleas.

Dónde: n_1 = rpm de la polea pequeña (polea motriz)

d = Diámetro de la polea pequeña

n_2 = rpm de la polea mayor (polea conducida)

D = Diámetro de la polea mayor (Defaz Pallasco & Tuza Cuzco, 2011)

En el mercado se encuentran poleas de 2" $d = 50,8$ mm

$$D = \frac{n_1 \times d}{n_2}$$

$$D = \frac{1720 \text{ rpm} \times 50,8 \text{ mm}}{300 \text{ rpm}}$$

$$D = 291,25 \text{ mm}$$

$$D = 11,46 \text{ pulg}$$

En el mercado encontramos poleas de $D = 14$ "

3.10 Distancia entre centros de poleas.

Se determina con el siguiente criterio si se da el caso que la distancia entre ejes de las poleas no está previamente establecida, por exigencia de la instalación (Calero & Roque, 1999, pág. 264).

$$I \geq \frac{(k+1)*d}{2} + d(mm) \quad \text{Para } 1 \leq K < 3 \quad \text{Ec.8}$$

$$I \geq D \quad \text{Para } K \geq 3$$

Se tiene una relación de transmisión de:

$$K = \frac{n_1}{n_2}$$

Dónde: n_1 = Velocidad angular de polea motriz

n_2 = Velocidad angular de polea conducida

Donde $n_1 = 1720 \text{ rpm}$ y $n_2 = 300 \text{ rpm}$

$$K = \frac{1720}{300}$$

$$K = 5,73$$

$$I = 291,25 \text{ mm}$$

Redondeando se toma un valor de 350 mm

3.11 Longitud primitiva de la correa.

Se calcula el largo de la correa mediante la siguiente expresión:

$$L = 2 * I + 1,57 * (D + d) + (D - d)^2 / (4 * I) \quad \text{Ec.9}$$

Dónde:

I: distancia entre centro de poleas

D: diámetro de la polea mayor

d: diámetro de la polea menor (Defaz Pallasco & Tuza Cuzco, 2011)

$$L = 2(350) + 1,57(355,6 + 50,8) + \frac{(355,6 - 50,8)^2}{(4 \times 350)}$$

$$L = 1404,40 \text{ mm}$$

Tabla 10.

Longitud primitiva nominal.

Longitud primitiva nominal				
Correa (in)	Sección Z (mm)	Sección A (mm)	Sección B (mm)	Sección C (mm)
42	1092	1106	1100	-
43	1117	1134	1140	-
44	1143	1153	1156	1191
45	1168	1186	1184	1217
46	1193	1199	1204	1242
47	1219	1232	1237	1267
48	1244	1262	1268	1293
49	1270	1280	1288	1318
50	1295	1306	1318	1344
51	1320	1330	1328	1357
52	1346	1354	1367	1394
53	1371	1381	1392	1429
54	1397	1405	1410	1442
55	1422	1429	1443	1460
56	1447	1459	1460	1497

57	1473	1492	1491	1527
58	1498	1507	1512	1550
59	1524	1532	1541	1576
60	1549	1556	1556	1598

Nota: Tabla para seleccionar la longitud primitiva de la correa.

Fuente: (DUNLOP, 2014)

Según la tabla 10 sección A la longitud de correa más cercana es A-55 de longitud 1429 mm, a continuación se calcula la distancia efectiva entre ejes con la siguiente ecuación:

$$I_e = I \pm \frac{L - L'}{2} \quad (\text{Calero \& Roque, 1999, pág. 266}) \quad \text{Ec.10}$$

Dónde: I_e = Distancia efectiva entre ejes

$$I_e = 350 \text{ mm} - \frac{1404,40 - 1429}{2}$$

$$I_e = 362,3 \text{ mm}$$

3.12 Arco de contacto de la polea conductora.

El arco de contacto se define como la transmisión de la polea menor a la correa por fricción. Formando un ángulo entre la correa y la polea.

En la siguiente ecuación se calcula el arco de contacto:

$$\text{Arc} = 180^\circ - 60^\circ \times \frac{(D-d)}{I_e} \quad (\text{Calero \& Roque, 1999, págs. 262-266})$$

Ec.11

$$\text{Arc} = 180^\circ - 60^\circ \times \frac{(355,6 - 50,8)}{362,3}$$

$$\text{Arc} = 100,95^\circ$$

3.13 Número de correas.

Cada correa indica una velocidad (en rpm) y en función del diámetro de la polea menor que transmite una potencia, la misma que especifica el motor.

Se determina la capacidad básica por correa (HP_{pc}).

Mediante la siguiente ecuación tenemos la cantidad de correas a usarse:

$$Cant = \frac{P_d}{(HP_{pc} * F)} \quad \text{Ec.12}$$

Dónde:

P_d = Potencia de diseño

F = Factor de corrección (ver anexo 4)

HP_{pc} = Capacidad básica por correa (ver anexo 5)

$$Cant = \frac{1/2 Hp}{0,88 \times 0,77}$$

$$Cant = 1,48$$

Por consiguiente se selecciona 2 correas para mayor seguridad y aliviar tensiones.

3.14 Velocidad de la correa.

Se recomienda que la velocidad de la correa debe ser lo mayor posible con el objetivo de disminuir la cantidad de correas, siempre y cuando no supere la velocidad máxima límite de $V_{max} = 30$ m/s, para que el efecto de la fuerza centrífuga no disminuya la capacidad tractiva de la correa. (Defaz Pallasco & Tuza Cuzco, 2011)

$$V = \frac{n_1 * \pi * d}{6000} \leq V_{max}(m/s) \quad \text{Ec.13}$$

Dónde: n_1 =Frecuencia de rotación de polea menor

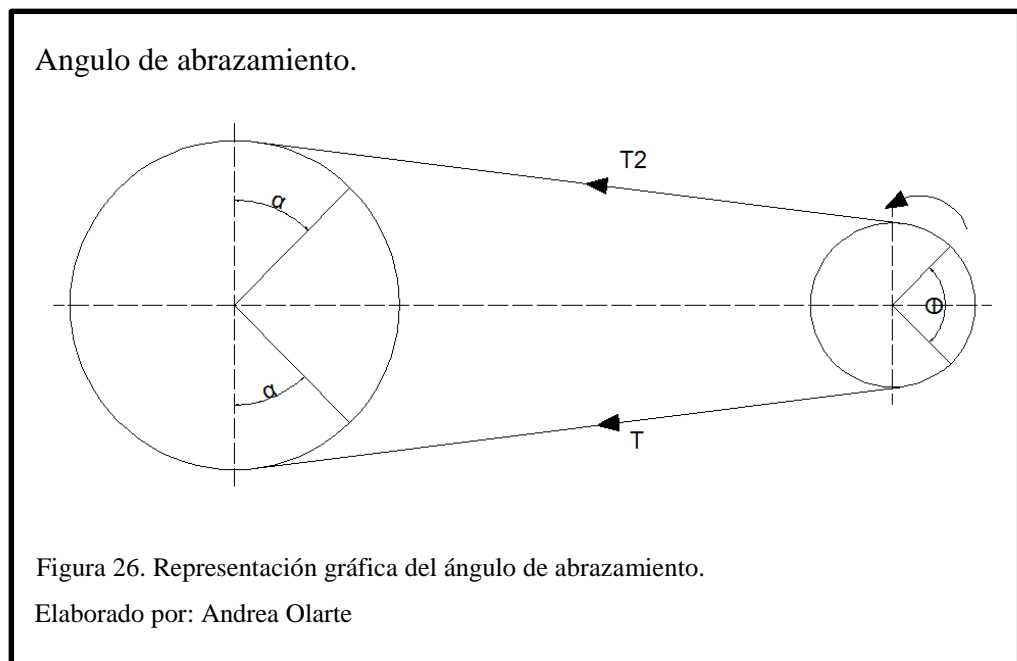
d = Diámetro de polea menor (mm)

$$1720 \frac{rev}{min} \times \frac{2\pi}{rev} \times \frac{1min}{60 s} = 180,11 \frac{rad}{s}$$

$$V = \frac{180,11 \frac{rad}{s} \times \pi \times 50,8}{6000}$$

$$V = 4,79 \text{ m/s} \quad \rightarrow \quad 942,91 \text{ pie/min}$$

3.15 Angulo de abrazamiento de la polea conducida.



Angulo α

Se tiene el ángulo θ (Polea conductora) que es igual al ángulo del arco de contacto $\text{Arc}=100,95^\circ$

$$2\alpha = 180 - \theta$$

$$\alpha = \frac{180 - \theta}{2}$$

$$\alpha = \frac{180 - 100,95^\circ}{2}$$

$$\alpha = 39,52^\circ$$

Ángulo β .

Utilizando el ángulo α se calcula el ángulo de abrazamiento β para la polea conducida.

$$\beta = 180 + 2\alpha$$

$$\beta = 180 + 2(39,52)$$

$$\beta = 259,05^\circ$$

$$\beta = 259,05^\circ \times \frac{2\pi \text{ rad}}{360^\circ} = 4,52 \text{ rad}$$

3.16 Tensiones en la polea.

Con la ecuación de Euler basada en la dependencia analítica entre las tensiones del hilo flexible inextensible que se desliza por un cilindro fijo. (Calero & Roque, 1999)

Tensiones de las poleas.

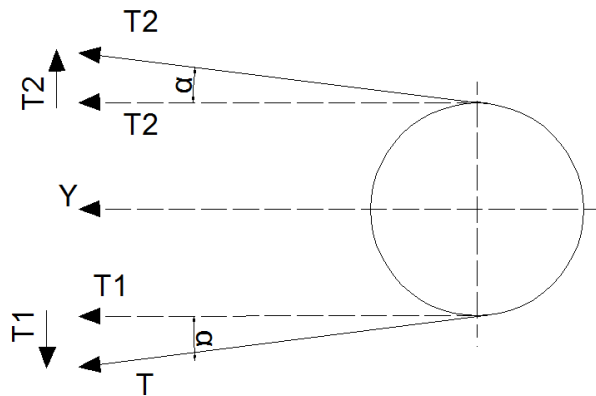


Figura 27. Representación gráfica de las tensiones de las bandas en las poleas.

Elaborado por: Andrea Olarte

Ecuación de Euler está dada por:

$$\frac{T_1}{T_2} = e^{\frac{f \times \beta}{\sin(\gamma/2)}} \quad \text{Ec.14}$$

Siendo:

$f = 0.28$ = Coeficiente de fricción entre el hilo y la superficie del cilindro (ver anexo

6)

β = Ángulo de abrazamiento

$\gamma = 34^\circ$ = Ángulo de garganta (ver anexo 3)

T_1, T_2 = Tensiones

$$\frac{T_1}{T_2} = e^{\frac{0,28 \times 4,52}{\sin(34^\circ/2)}}$$

$$\frac{T_1}{T_2} = 75,94 \quad \text{Ec.15}$$

Tensiones de la potencia a transmitir.

$$T_1 - T_2 = \frac{33000 \times P_d}{V(\text{pie}/\text{min})}$$

Dónde: P_d = Potencia de diseño

$$T_1 - T_2 = \frac{33000 \times 0,5 \text{ HP}}{1240,26 \text{ (pie/min)}}$$

$V =$ Velocidad de la correa (pie/min)

$$T_1 - T_2 = 134,34 \text{ lbf}$$

Ec.16

Resolviendo las ecuaciones 15 y 16 se tiene:

$$T_1 = 136,13 \text{ lbf}$$

$$T_2 = 1,7926 \text{ lbf}$$

Tensiones resultantes.

$$\text{Si } \alpha = 39,52^\circ$$

$$T_y = (T_1 - T_2) \times \text{sen } \alpha$$

$$T_y = (136,13 - 1,79) \times \text{sen } 39,52$$

$$T_y = 85,49 \text{ lbf} \times \frac{1 \text{ N}}{0,2248 \text{ lbf}} = 380,27 \text{ N}$$

$$T_z = (T_1 - T_2) \times \cos \alpha$$

$$T_z = (136,13 - 1,79) \times \cos 39,52$$

$$T_z = 103,63 \text{ lbf} \times \frac{1 \text{ N}}{0,2248 \text{ lbf}} = 460,98 \text{ N}$$

3.17 Cálculo de reacciones en el eje cuadrado.

Por medio de una sumatoria de fuerzas y momentos se determina las reacciones presentes en el eje.

Fuerzas en el plano x-y.

Reacciones en el eje cuadrado.

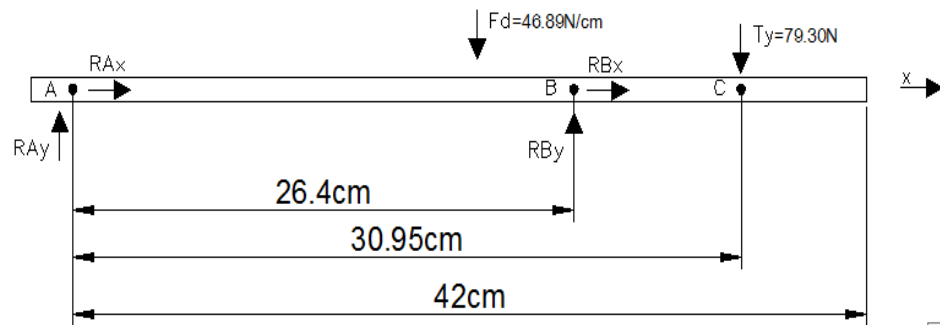


Figura 28. Representación gráfica de las reacciones en le eje cuadrado.

Elaborado por: Andrea Olarte

Para facilidad de obtener las reacciones, momento máximo, diagramas de corte Se utiliza el programa MD Solid 3.5.

Diagrama de momento en plano X-Y.

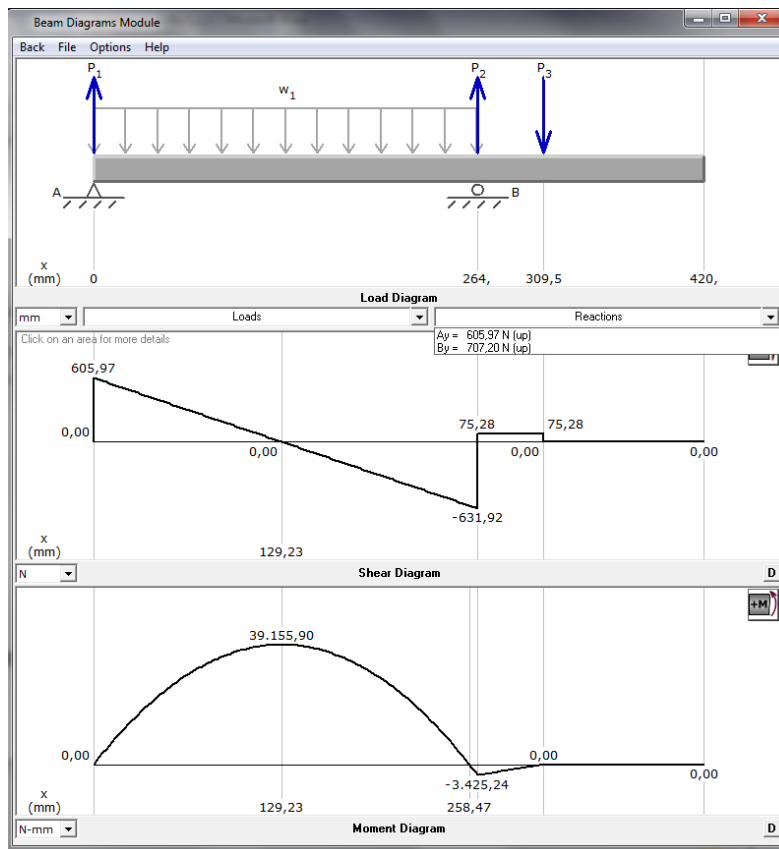


Figura 29. Captura de pantalla de los momentos y reacciones en el plano X-Y en el Programa MD Solid 3.5.

Elaborado por: Andrea Olarte

Representación de las reacciones en el plano x-y

Reacciones en el plano X-Y.

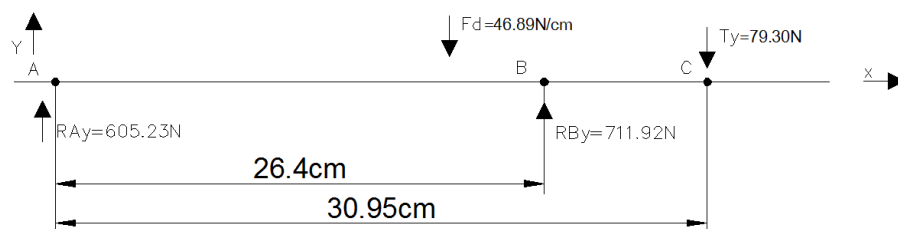


Figura 30. Representación del valor de reacciones obtenidas en el programa.

Elaborado por: Andrea Olarte

Diagrama de momentos en el plano X-Z.

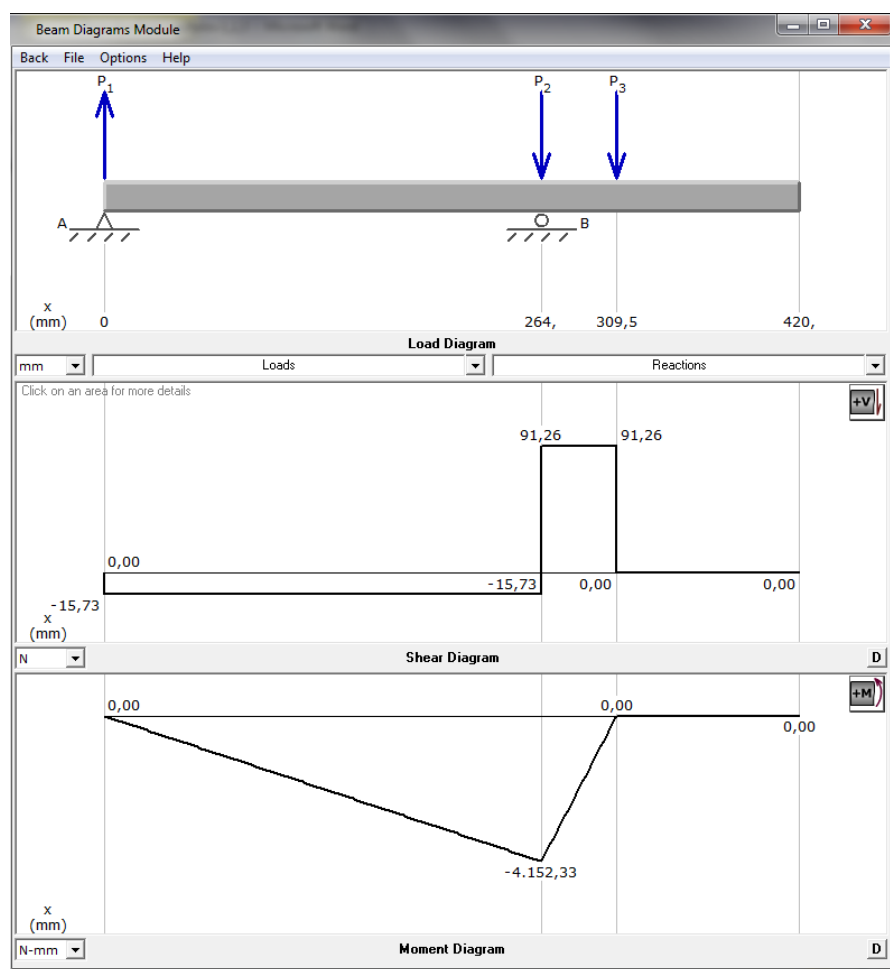


Figura 31. Diagrama de momentos máximos y reacciones obtenidas en el programa.

Elaborado por: Andrea Olarte

Reacciones en el plano X-Z.

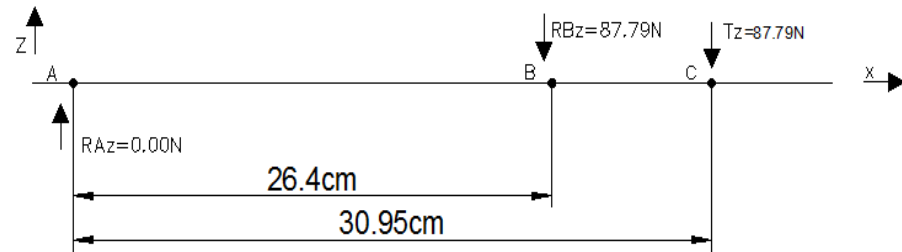


Figura 32. Representación de las reacciones en el eje cuadrado.

Elaborado por: Andrea Olarte

3.17.1 Momentos resultantes.

El momento resultante en el punto B está dado por:

$$M_{RB} = \sqrt{M_{XY}^2 + M_{XZ}^2}$$

$$M_{RB} = \sqrt{39,15^2 + 0}$$

$$M_{RB} = 39,15 \text{ Nm}$$

El momento resultante en el punto C está dado por:

$$M_{RC} = \sqrt{M_{XY}^2 + M_{XZ}^2}$$

$$M_{RC} = \sqrt{3,42^2 + 4,15^2}$$

$$M_{RC} = 5,37 \text{ Nm}$$

3.18 Diseño del eje.

Para el diseño del eje se selecciona el tipo de material. Por ser un producto alimenticio se selecciona un eje en acero inoxidable AISI 304 con un límite de fluencia

$S_y = 2.40 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ (ver anexo 7). (Defaz Pallasco & Tuza Cuzco, 2011)

3.18.1 Diseño estático del eje.

Después de los resultados obtenidos en el programa MD Solid 3.5. El punto más crítico se tiene en el punto B del eje cuadrado donde:

$$M_{RC} = 39,15 \text{ Nm}$$

Se determina el torque

$$T = \frac{P}{w} \quad \text{Ec.17}$$

Dónde:

T= torque

P= potencia del motor

W= velocidad angular de despulpado del café

$$w = 300 \frac{\text{rev}}{\text{min}} \times \frac{2\pi}{\text{rev}} \times \frac{\text{min}}{60 \text{ s}} = 31,41 \text{ rad/s}$$

$$0,5 \text{ HP} \times \frac{746 \text{ Watt}}{\text{HP}} = 373 \text{ watt}$$

$$T = \frac{373 \text{ watt}}{31,41 \text{ rad/s}}$$

$$T = 11,87 \text{ watt/s}$$

$$T = 11,87 \frac{\text{Kg m}^2/\text{s}^2}{\text{s}}$$

$$T = 11,87 \text{ N m}$$

Esfuerzo cortante máximo se tiene que:

$$n = \frac{S_y}{\sigma_{eq}}$$

$$\text{Siendo } \sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_x^2 + 4\tau_{xy}^2} \quad \text{Ec.18}$$

Esfuerzo de flexión

$$\sigma_x = \frac{32M_{max}}{\pi d^3}$$

$$\sigma_x = \frac{32 \times 39,15 Nm}{\pi d^3}$$

$$\sigma_x = \frac{54,77 Nm}{d^3}$$

Esfuerzo de torsión

$$T_{xy} = \frac{16T}{\pi d^3}$$

$$\text{Si } T = 11,87 Nm$$

$$T_{xy} = \frac{16 \times 11,87 Nm}{\pi d^3}$$

$$T_{xy} = \frac{44,91 Nm}{d^3}$$

Reemplazando

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\left(\frac{60,45 Nm}{d^3}\right)^2 + 4\left(\frac{44,91 Nm}{d^3}\right)^2}$$

Con un factor de seguridad de $n = 2.5$ (ver anexo 8) se tiene que:

$$2,5 = \frac{2,40 \times 10^8 N/m^2}{\sqrt{\left(\frac{60,45 Nm}{d^3}\right)^2 + 4\left(\frac{44,91 Nm}{d^3}\right)^2}}$$

$$\left(\frac{2,40 \times 10^8}{2,5}\right)^2 = \left(\sqrt{\left(\frac{60,45 Nm}{d^3}\right)^2 + 4\left(\frac{44,91 Nm}{d^3}\right)^2}\right)^2$$

$$\frac{3654,20 + 8071,18}{d^6} = 9,21 \times 10^{15}$$

$$d = 0,01041 m$$

$$d = 15 \text{ cm}$$

3.18.2 Diseño del tambor.

Se calcula el radio del tambor con la siguiente formula:

$$T = F \times r$$

Ec.19

La fuerza de despulpado se tomó de la tabla 9.

La fuerza a emplear es de 121,52 N

$$r = \frac{T}{F}$$

$$r = \frac{11,87 \text{ N m}}{127,4 \text{ N}}$$

$$r = 0,093 \text{ m}$$

3.18.3 Cálculo de la longitud del tambor.

Se toma la medida del diámetro menor del grano además el número de granos que caen en el tambor usando la siguiente formula:

Se tomó el diámetro de 1,5 cm (ver tabla 9).

Longitud del tambor.

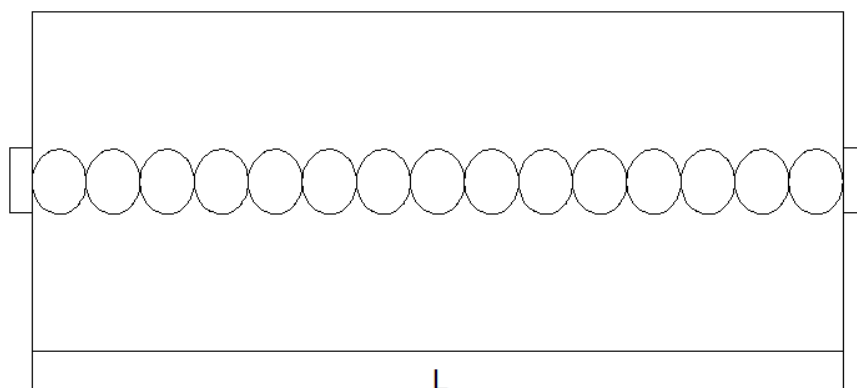


Figura 33. Representación en el gráfico de la longitud L.

Elaborado por: Andrea Olarte

$$l = \#_{\text{granos en el tambor}} \times 1,5 \text{ cm}$$

Ec.20

$$l = 15 \times 1,5 \text{ cm}$$

$$l = 22,5 \text{ cm}$$

3.19 Selección del sistema de transmisión.

El sistema de transmisión que posee la máquina despulpadora seleccionada para operar simultáneamente el cilindro y el sistema de alimentación (eje cuadrado).

La función primordial es la de accionar el eje de alimentación (eje cuadrado), que por medio del sistema “Pasa no Pasa” alimenta determinado número de cerezas para ser despulpadas.

Los sistemas de transmisión que se pueden emplear son:

- Por poleas o bandas
- Por piñón y cadena
- Por engranajes

Algunas características y diferencias entre estos sistemas son:

- Por poleas o bandas no se tiene una relación constante de transmisión. Su funcionamiento es suave y sin choques, por cuanto las sobrecargas no se transmiten, ya que se produce el resbalamiento de las bandas.

El uso de las poleas y bandas presenta ventajas notables de costo menor y no necesita un mantenimiento cuidadoso frente a los otros tipos de transmisión.

- Por piñón y cadena tenemos primeramente que la relación de transmisión es constante. La distancia entre centros ejes para este sistema, prácticamente no tiene restricciones. Esta ventaja da como resultado diseños más sencillos, prácticos y menos costoso.

La elasticidad propia de la cadena en tensión, sumada al efecto amortiguador del lubricante en las articulaciones de la cadena, genera una mayor capacidad para absorber impactos con relación al sistema de engranajes. El desgaste de la cadena es reducido, teniendo en cuenta que la cadena está distribuida simultáneamente sobre varios dientes de las ruedas dentadas, además se recomienda usar piñón y cadena para una máquina que va arrancar con carga.

Los engranajes permiten así mismo tener una relación constante de transmisión. Transmiten grandes potencias con menos pérdidas. Poseen buena seguridad de funcionamiento y de mantenimiento.

En la selección de transmisión para máquinas, en primer lugar queda descartado el sistema de polea y banda por no tener una relación de transmisión constante, que en el presente caso es indispensable en el eje de alimentación (eje cuadrado).

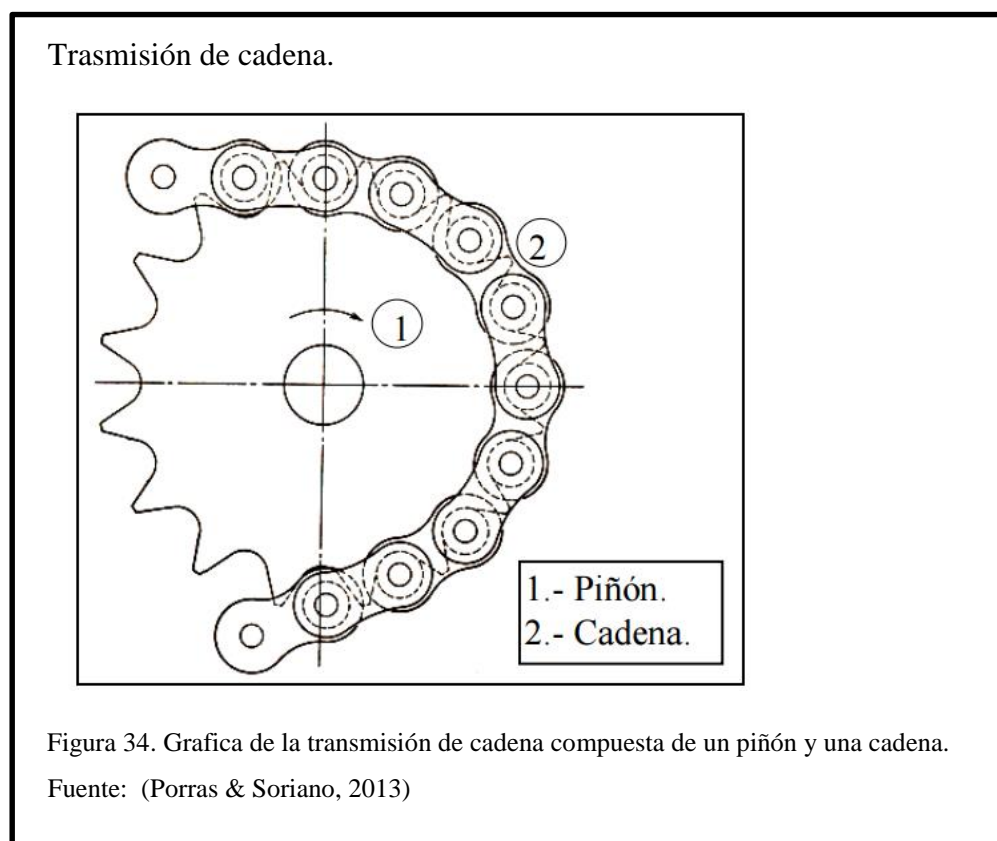
Entre los dos sistemas restantes se ha tomado en cuenta el factor económico, ya que la relación de costo del sistema piñón cadena al sistema de engranajes es aproximadamente $\frac{1}{4}$. Por lo tanto el sistema de transmisión seleccionado es el de piñón y cadena que es mucho más económico y de fácil adquisición en el mercado.

Determinación de los piñones y la cadena

Para la determinación de los piñones y la cadena adecuados su relación de transmisión dada, los fabricantes de estos elementos hacen sus consideraciones propias y que por lo general son parecidas. Es fundamental la cantidad de potencia involucrada en el mecanismo e igualmente la relación de transmisión.

3.19.1 Cálculo de la cadena y piñones.

En el mercado encontramos variedades de piñón y cadenas utilizadas para diferentes actividades las más comunes y que vamos a usar a continuación son las cadenas de rodillos.



Partes de una cadena de rodillos.

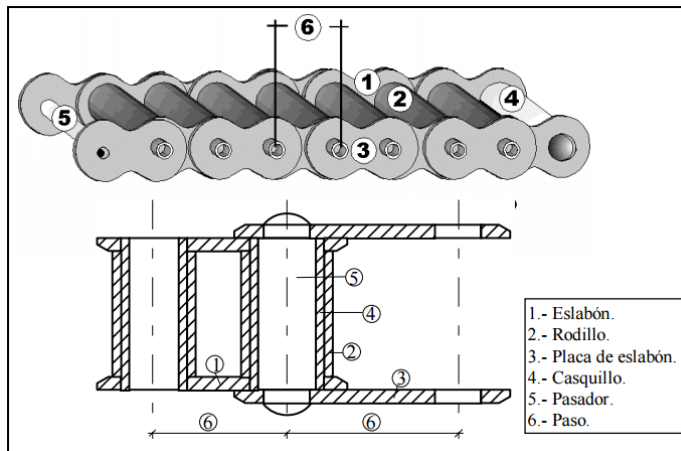


Figura 35. Gráfico de las partes que conforman una cadena.

Fuente: (Porrás & Soriano, 2013)

Para la selección de la cadena será por medio del gráfico (Figura 36) para seleccionar una cadena es preciso conocer:

- La potencia a transmitir.
- Las revoluciones por minutos del árbol motor y del conducido. (Porrás & Soriano, 2013)

Presentación de cadenas.

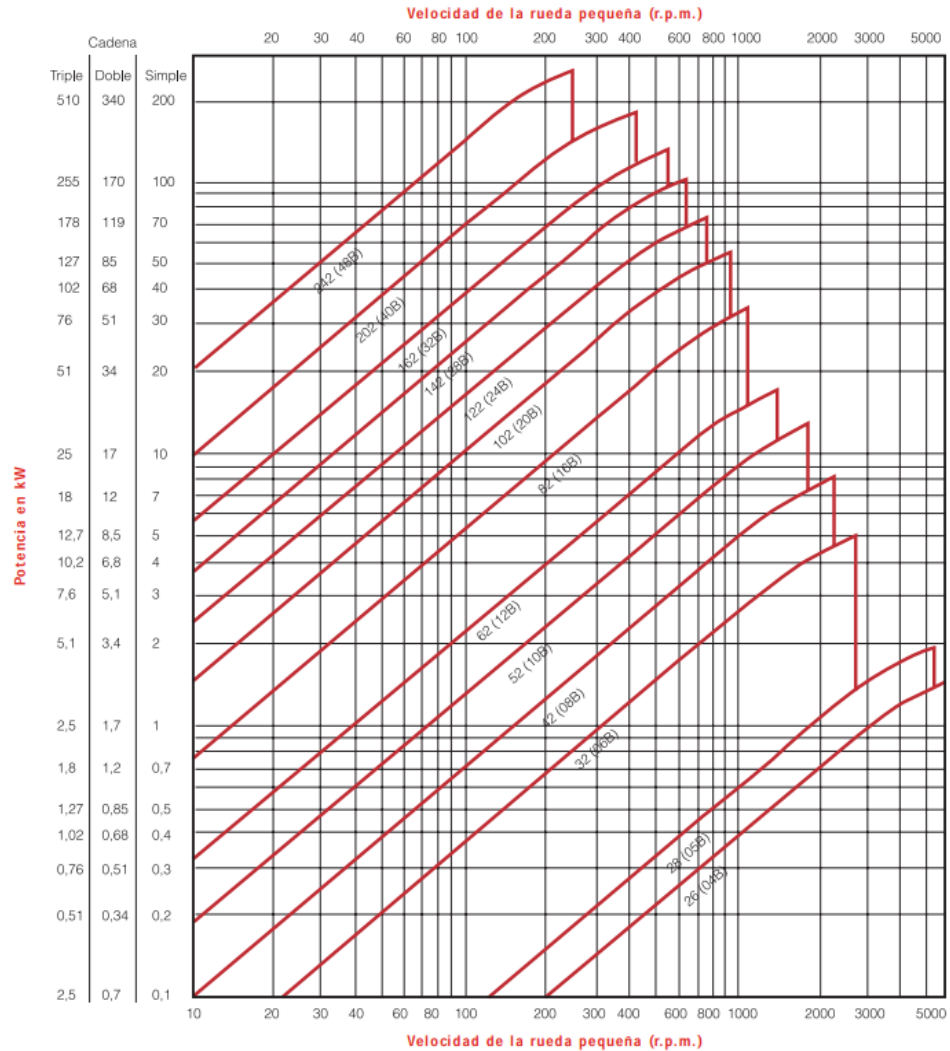


Figura 36. Grafico para escoger el tipo de cadena.

Fuente: (Porrás & Soriano, 2013)

Las características dimensionales de las cadenas se presentan en la tabla N° 12

Dimensiones de cadenas de rodillos simples.

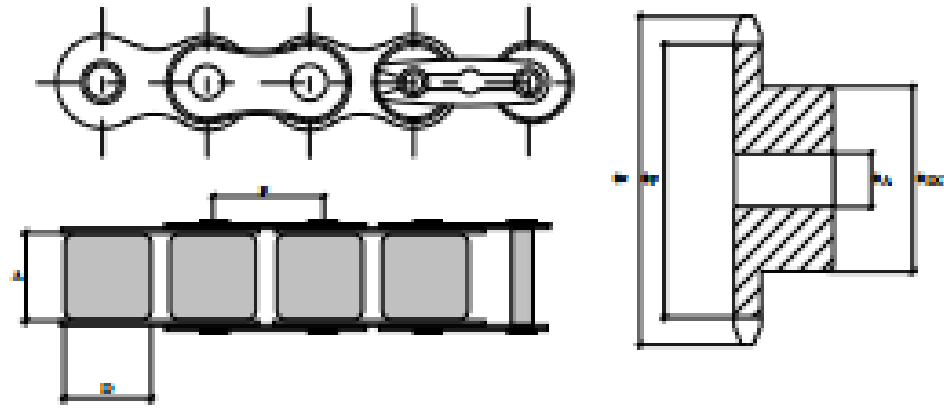


Figura 37. Grafico para ver las dimensiones de cadenas con rodillos simples.

Fuente: (Porrás & Soriano, 2013)

Tabla 11.

Dimensiones de cadenas de rodillos simples

<i>Ref. Nº</i>	<i>PASO P mm. Pulg.</i>	<i>ancho int. A. mm.</i>	<i>Ø rod. D. mm.</i>	<i>Carga rotura Kgs.</i>	<i>Peso Kgs. por m.</i>
1000-S.	9'52 - 3/8"	3'94	6'35	1.000	0'380
1001-S.	9'52 - 3/8"	5'72	6'35	1.000	0'400
1002-S.	12'70 - 1/2"	3'30	7'75	875	0'300
1003-S.	12'70 - 1/2"	4'88	7'75	1.400	0'460
1004-S.	12'70 - 1/2"	6'40	7'75	1.800	0'610
1005-S.	12'70 - 1/2"	5'21	8'51	2.000	0'650
1006-S.	12'70 - 1/2"	6'40	8'51	2.000	0'680
1007-S.	12'70 - 1/2"	7'75	8'51	2.000	0'730
1008-S.	15'88 - 5/8"	6'48	10'16	2.500	0'840
1009-S.	15'88 - 5/8"	9'65	10'16	2.500	0'960
1010-S.	19'05 - 3/4"	11'68	12'07	3.200	1'230
1011-S.	19'05 - 3/4"	12'70	11'90	3.900	1'600
1012-S.	25'40 - 1"	12'70	12'70	3.900	1'330
1013-S.	25'40 - 1"	17'02	15'88	6.500	2'670
1014-S.	31'75 - 1 1/4"	19'56	19'05	10.000	3'300
1015-S.	38'10 - 1 1/2"	25'40	25'40	22.000	7'680
1016-S.	44'45 - 1 3/4"	30'99	27'94	25.000	9'450
1017-S.	50'80 - 2"	30'99	29'21	26.000	8'950
1018-S.	63'50 - 2 1/2"	38'10	39'37	43.000	16'040
1019-S.	76'20 - 3"	45'72	48'26	65.000	25'310

Nota: Tabla para encontrar el número de pasos y dimensiones de la cadena.

Fuente: (Porrás & Soriano, 2013)

Los siguientes datos para nuestra cadena fueron:

$$P = \text{paso} = 7\text{mm}$$

$$Z_1 = \text{número de dientes del piñón motriz} = 15$$

$$Z_2 = \text{número de dientes del piñón conducido} = 36$$

$$S = \text{distancia entre centros de piñones} = 119\text{ mm}$$

3.19.2 Calculo de la longitud de la cadena

Para el cálculo de la longitud de la cadena usaremos la siguiente formula:

$$L = 2 \frac{S}{P} + \frac{Z_1 + Z_2}{2} + \left(\frac{Z_2 - Z_1}{2\pi} \right)^2 \cdot \frac{P}{S} \quad \text{Ec.21}$$

Dónde: S= distancia entre centros de piñones

Z_1 y Z_2 = Número de dientes en los piñones

P= paso

L= número de pasos

$$L = 2 \frac{119mm}{7mm} + \frac{15 + 36}{2} + \left(\frac{36 - 15}{2\pi} \right)^2 \cdot \frac{7mm}{119mm}$$

$$L = 60,15$$

3.19.3 Diámetro primitivo del piñón.

El diámetro primitivo se calcula mediante la fórmula:

$$D_p = \frac{P}{\sin \frac{180}{Z}} \quad \text{Ec.22}$$

Dónde:

Z= número de dientes del piñón.

$$D_p = \frac{7mm}{\sin \frac{180}{15}}$$

$$D_p = 33,66 \text{ mm}$$

En la siguiente tabla se presentan las dimensiones de los piñones normalizadas

(cadenas simples).

Tabla 12.

Piñones para cadenas simples.

<i>Ref Nº</i>	<i>Z</i>	<i>D_p mm.</i>	<i>D_e mm.</i>	<i>D_g mm.</i>	<i>Ø A mm.</i>	<i>B mm.</i>
1001 13S	13	39'80	44	27	12	30
1001 15S	15	45'81	50	33	12	30
1001 17S	17	51'84	56	39	12	30
1001 19S	19	57'87	62	45	12	30
1001 21S	21	63'91	68	51	12	30
1001 23S	23	69'95	74	57	12	30
1001 25S	25	76	80	63	12	30
1001 27S	27	82'05	86	69	12	30
1001 30S	30	91'12	95	79	12	30
1001 38S	38	115'34	119	70	20	36
1001 57S	57	172'91	177	70	20	36
1001 76S	76	230'49	234	75	20	36
1001 95S	95	288'08	291	75	20	40
1001 114S	114	345'68	349	80	25	46

Nota: Tabla para seleccionar los piñones para cadenas de rodillos simples.

Fuente: (Porrás & Soriano, 2013)

Piñones para cadenas simples de paso 3/8"= 9,52 mm

Diámetro del rodillo= 6,35 mm

Tenemos en el sistema de cadena piñón, que sus velocidades son:

$$n_1 = 245,71 \text{ rpm}$$

$$n_2 = ?$$

De la fórmula:

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\frac{15}{36} = \frac{n_2}{245,71 \text{ rpm}}$$

$$n_2 = 102,37 \text{ rpm}$$

Esta va a ser la velocidad de 102,37 rpm con la cual está girando el eje de alimentación (eje cuadrado).

3.20 Acople de la camisa al tambor.

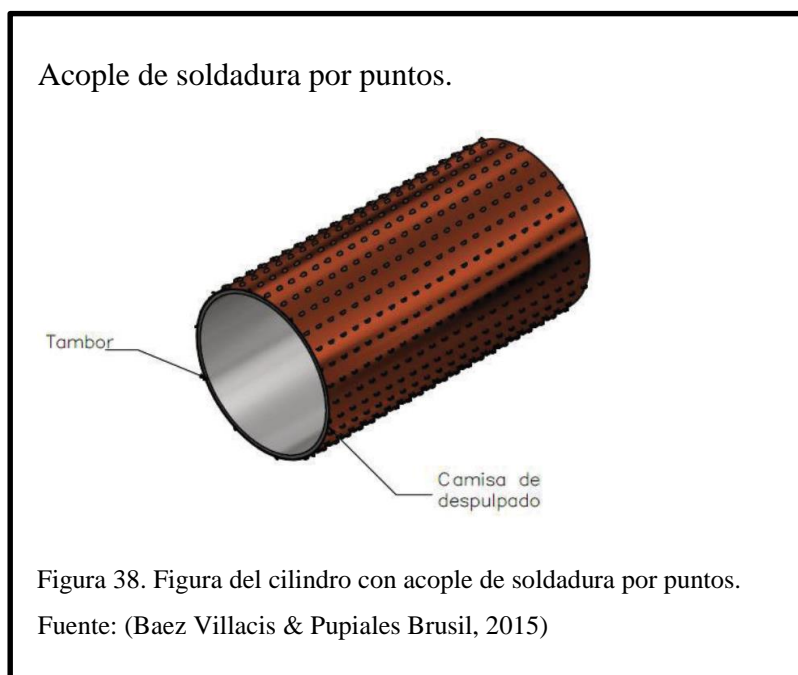
Para seleccionar el acople a continuación estudiaremos tres tipos:

- Acople mediante soldadura de puntos
- Acople mediante clavos y tacos de caucho o madera
- Acople mediante perno y tuerca

3.20.1 Acople mediante soldadura de puntos.

Esta opción surge de los requerimientos de soldadura y la necesidad que la camisa no se desprenda del tambor mientras se realiza el despulpado.

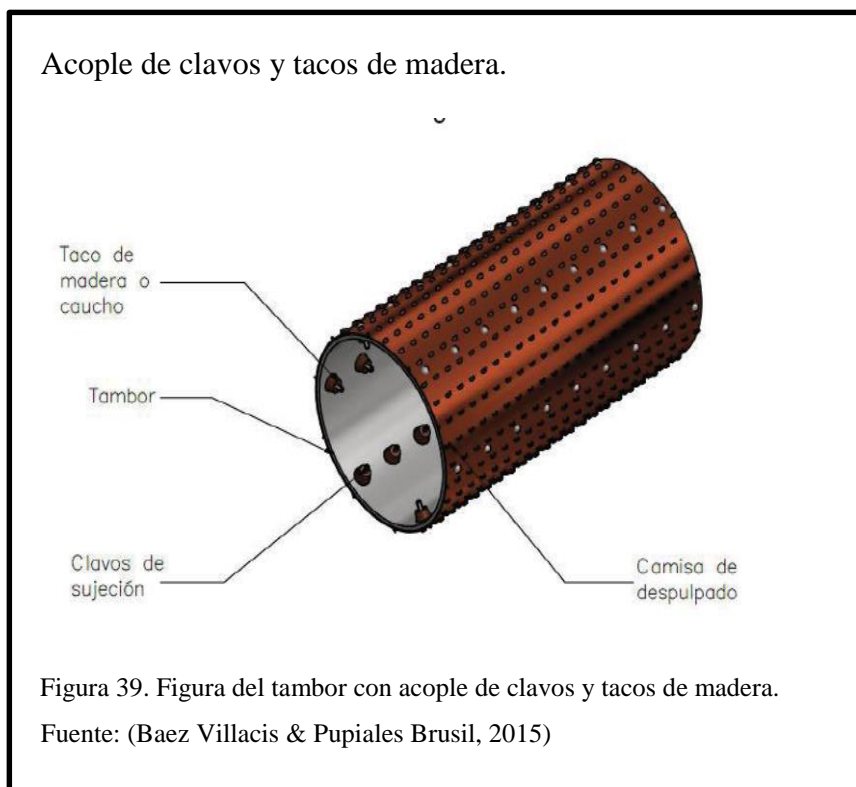
Al momento de hacer la limpieza no presta riesgos como el caso de los clavos, A demás al momento al hacer el proceso de soldadura se requiere usar el equipo adecuado con el surge la necesidad de comprarlos.



3.20.2 Acople mediante clavos y tacos de caucho o madera.

Esta opción se basa en las máquinas ya construidas y similares para el despulpado, en las cuales se usa un cuerpo que gira con el eje principal de la máquina sobre el cual se realizan perforaciones de tal manera que se puedan insertar cuerpos de materiales más flexibles para para que alberguen los clavos y asegurar la camisa.

El costo de usar esta opción es muy reducido en comparación de las otras dos, el tambor se puede conservar y hacerle cambios de camisa sin desperdiciar el material.

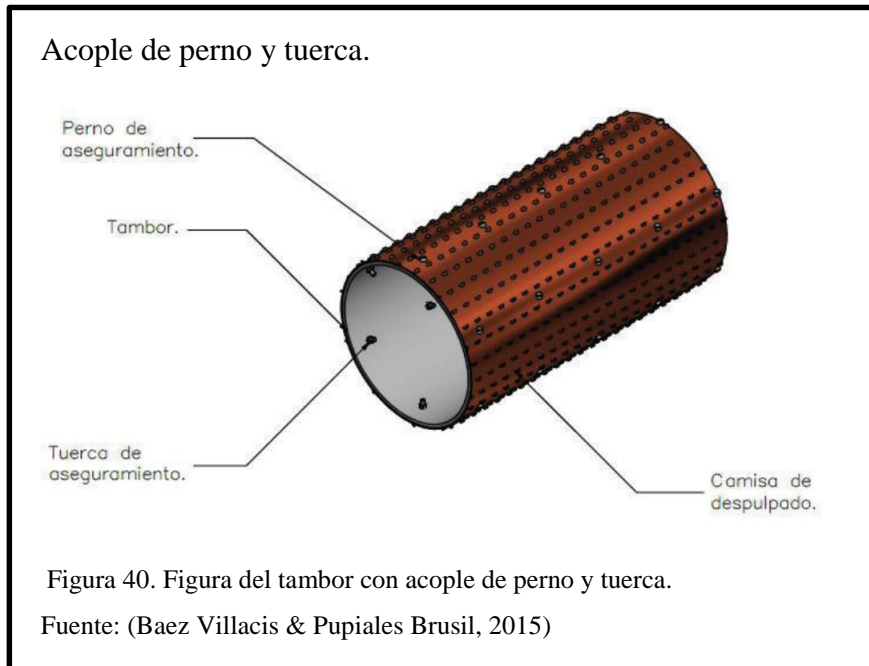


3.20.3 Acople mediante perno y tuerca.

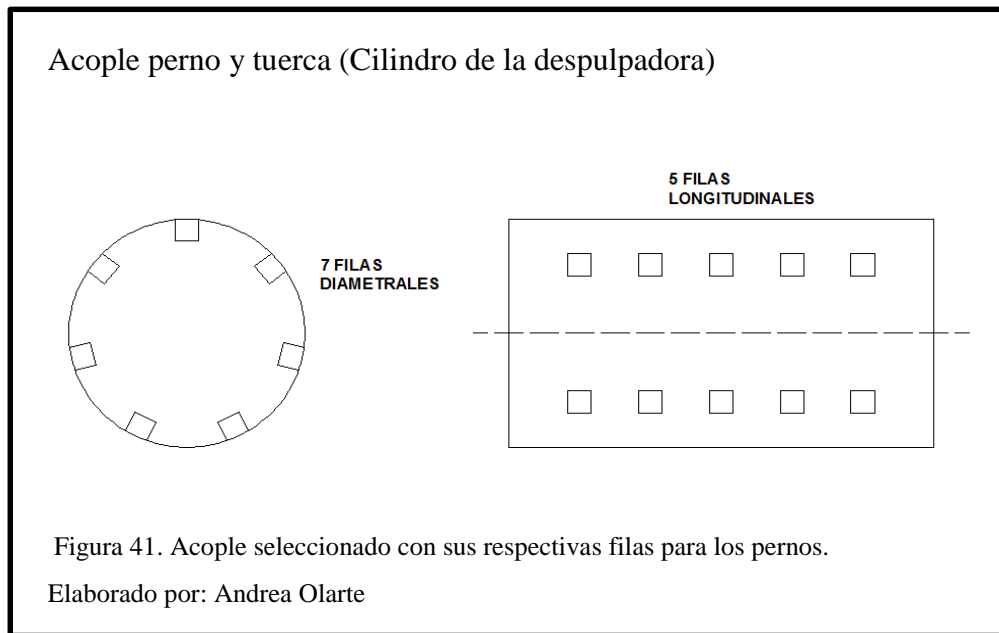
Esta opción surge de la facilidad que encontramos en el mercado elementos ya normalizados al momento de realizar montaje y desmontaje de la máquina nos brindan una solución fácil y segura.

El nivel de seguridad que ofrece esta opción es bastante alta por lo tanto ofrecen solución al momento del montaje de la máquina.

Como desventaja al momento de hacer un cambio de camisa es necesario perforarla utilizando un taladro.



Al analizar cada una de las opciones establecidas se determina que el acople de clavos y tacos es el adecuado. Debido a que se puede seguir usando el cilindro con facilidad de cambio de la camisa sin necesidad de técnicas o causar daños en el tambor.



3.20.4 Cálculo de la longitud de la camisa

La camisa y el pechero son los elementos importantes ya que estos son los que van generar la fuerza para el despulpado de los granos de café, por ello el diseño se debe tener en cuenta funcionalidad, espacio y adaptabilidad.

Como primer punto se determinan las dimensiones de la camisa, estableciendo en base de lo que se encuentra en el mercado.

El largo de la camisa se ajusta a la necesidad del comprador, teniendo en cuenta la longitud de la circunferencia del tambor, esta longitud se establece en base al radio calculado anteriormente que es de 7,5 cm

$$S = R \theta$$

$$S = 75 \text{ mm} (2\pi \text{ rad})$$

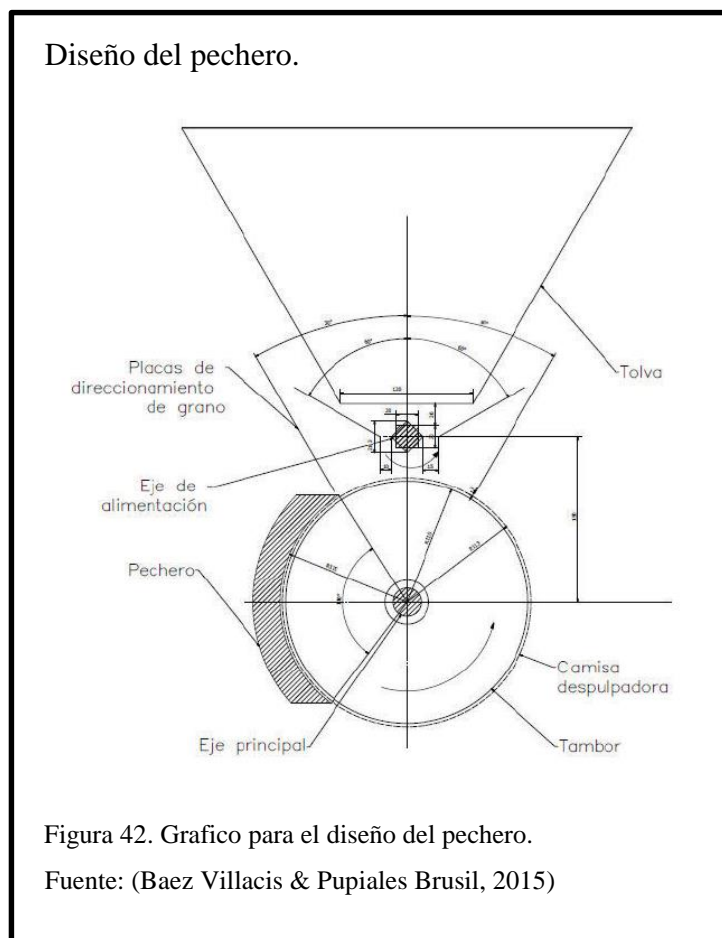
$$S = 471 \text{ mm} = 0,471 \text{ m}$$

Por operaciones de corte eliminación de aristas se determina una longitud de 0,5 m, y el ancho de la camisa es de 225mm.

3.21 Diseño del pechero

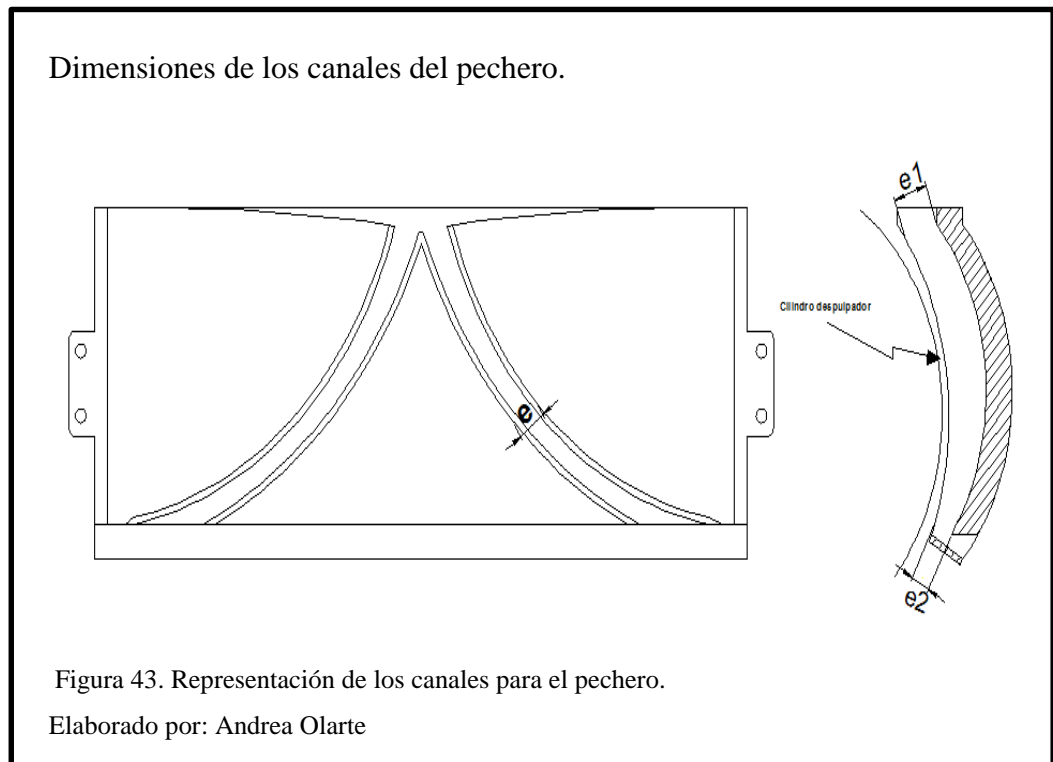
Para realizar el despulpado de los granos de café se da por medio de dos cuerpos uno fijo que es el pechero y uno móvil que es el cilindro, en el cual se acopla una camisa para facilitar el arrastre de los granos.

En este caso el cuerpo móvil facilita el movimiento de los granos de café mediante este movimiento van hacia el cuerpo fijo, por esta razón el cuerpo móvil tiene que ser uniforme, tanto en geometría como en inercia.



Lo importante al momento de despulpar es la compresión progresiva que se realiza.

El cuerpo fijo por recomendación suele abarcar $\frac{1}{4}$ de una esfera en base a las máquinas despulpadoras similares se estableció una abertura de 100° .



La profundidad de los canales o ranuras excéntricas tanto en la entrada del fruto y a la salida del grano de café se determinan de las siguientes consideraciones.

- La entrada debe ser menor al diámetro de las cerezas más grandes. Para esto se determina el valor de:

$$e_1 = 14 \text{ mm}$$

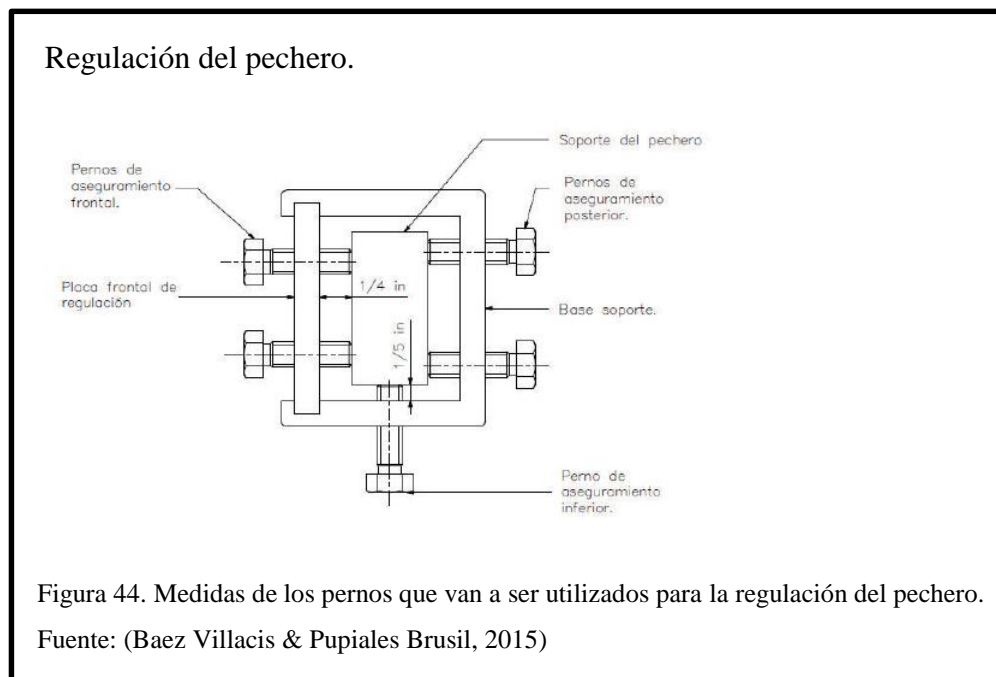
- En la salida de los granos, la profundidad es recomendable usar un valor de $e_2 = 1,7 \text{ mm}$ para cuando el sistema de regulación del despulpado se pueda dar a varios tamaños de granos.

- El ancho del canal del cóncavo debe ser mayor que el largo de la cereza más grande con el objetivo que puedan trasladarse fácilmente. Se determinó que sea de :

$$a = 22 \text{ mm}$$

3.21.1 Regulación del pechero.

Se puede determinar geométricamente la distancia que debe recorrer el pechero al momento de subir es de 2/5 pulg y la misma distancia si quisiera bajar, para la distancia lateral se determinó que era de 1/2 pulgada así el alojamiento para el soporte resulta:



3.22 Calculo de los esfuerzos en las barras de sujeción.

Estos cuerpos son los encargados de sujetar los castillos durante el despulpado.

A continuación se muestran los esfuerzos que son sometidos.

Barras de sujeción.

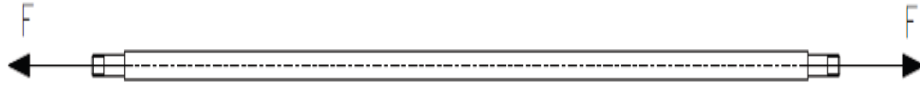


Figura 45. Grafica de la barra de sujeción sometida a esfuerzos.

Elaborado por: Andrea Olarte

Esta fuerza que deben soportar es equivalente al empuje de la entrada de los granos hacia el pechero, esta fuerza se determina en base al volumen que abarcan los granos de café desde la tolva hasta el pechero este volumen se estima de $0,0107 \text{ m}^3$, con la ecuación de Arquímedes y considerando al café que es un fluido.

$$F = \rho g V$$

F= Fuerza de empuje ejercidas por los granos sobre la barra

ρ = densidad del café aproximadamente (1200 kg/m^3)

g = gravedad ($9,8 \text{ m/s}^2$)

V = volumen del fluido (m^3)

$$F = (1200 \text{ kg/m}^3)(9,8 \text{ m/s}^2)(0,04054 \text{ m}^3)$$

$$F = 476,75 \text{ N}$$

Esta fuerza se distribuye para cuatro barras ubicadas sobre la máquina, uniando los castillos, la fuerza sobre una sola barra es la cuarta parte calculada el único esfuerzo que actúa sobre la barra es la tensión por lo tanto se puede establecer un diámetro mínimo.

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

σ = Esfuerzo (N/m²)

F= fuerza sobre la barra (N)

A= área de aplicación de la fuerza (m²)

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma}$$

σ = Esfuerzo (N/m²)

η = factor de seguridad

S_y= Esfuerzo de flexión del material (N/m²)

Tomando un factor de seguridad de 2,5 con un $S_y = 2,40 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ (Anexo 7).

$$A = \pi \frac{d^2}{4} = \frac{\eta F}{S_y} = 4,057 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$A = \pi \frac{d^2}{4} = \frac{2,5(476,75)N}{2,40 \times 10^8 \text{ N/m}^2} = 4,96 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

$$d = \sqrt{\frac{4(4,96 \times 10^{-6} \text{ m}^2)}{\pi}}$$

El diámetro mínimo resulta

$$d_{min} = 2,51 \times 10^{-3} \text{ m}$$

En base a los catálogos de barras lisas se tiene el diámetro mínimo de 10 mm por lo tanto se toma este diámetro con una longitud de 236 mm y con un roscado de M8 x 24.

3.23 Diseño estructural para la mesa.

3.23.1 Placa base para el motor.

Del acero inoxidable AISI A36 se selecciona una placa de 6 mm de espesor a la cual se le hará orificios donde se fijará el motor y el interruptor, con la utilización de un perno regulador se hace el ajuste de bandas. La figura 46 muestra la forma geométrica de la estructura que soporta a todo el cuerpo de la máquina.

Mesa de la máquina.

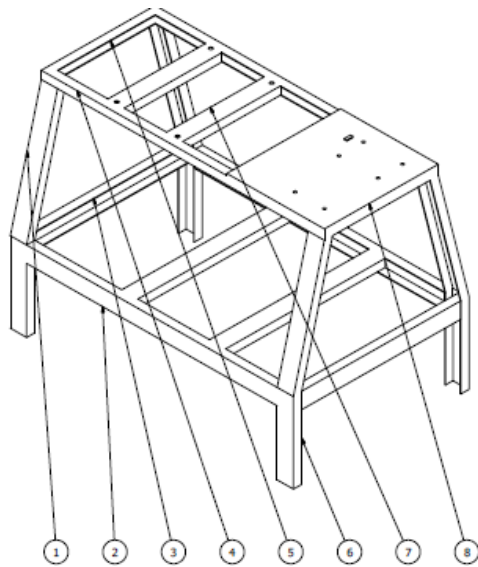


Figura 46. Imágenes de la mesa para la despulpadora de café.

Elaborado por: Andrea Olarte

Su construcción es de acero AISI 320, con perfiles tipo C.

3.23.2 Análisis de cargas.

Se considera las cargas más influyentes en el diseño de la mesa:

- **Carga viva.**

Se considera esta carga de la persona más la carga de la fruta cuando está madura, lleno total.

$$C_{viva1} = P_{persona} + P_{fruta}$$

$$C_{viva1} = 65 + 37,84$$

$$C_{viva1} = 102,84 \text{ Kg}$$

Dónde: C_{viva1} = Carga viva total del cuerpo

$$C_{viva2} = 65 \text{ Kg}$$

Dónde: C_{viva2} = Carga viva total donde se ubica el motor

- **Carga muerta.**

Se considera carga muerta 1 al peso propio forman el cuerpo y carga muerta 2 al peso del motor más la placa.

$$C_{muerta1} = 21,8 \text{ Kg}$$

$$C_{muerta2} = 16,80 \text{ Kg}$$

El diseño de la mesa se lo hará mediante el programa Inventor, en el cual actuara todas las cargas vivas y muertas, utilizando un factor de seguridad $n = 2$, según el anexo 8.

Del análisis y diseño realizado en el programa Inventor (ver anexo 9), para la fabricación de la mesa se utilizará un perfil tipo C en ASTM A36 de 50x25x2 mm.

Este tipo de perfil se usara en toda la estructura para conservar su sección y medidas para su unión, soldadura y apreciación.

- **Conexión eléctrica.**

En la conexión eléctrica se usara un interruptor con botones on / off, el cual on para encendido y off para el apagado de la máquina.

La intensidad de corriente del motor es de 15,40 / 7,70 Amperios.

Por las características anteriores el cableado debe ser con cable sólido # 10 o similar, según anexo 10.

Interruptor.



Figura 47. Imágenes del interruptor para el encendido y apagado de la máquina.

Elaborado por: Andrea Olarte

Capítulo 4

Capacidad de producción, análisis de costos, funcionamiento de la máquina

4.1 Generalidades.

En este capítulo se determina la capacidad de producción de la máquina despulpadora de café, y sus respectivos costos de cada pieza y mecanizado obteniendo el valor total de la máquina.

4.2 Capacidad de producción.

Se toma varios resultados de las pruebas realizadas, para obtener la capacidad de producción de la máquina, de los cuales consideramos:

- Peso que ingresa a la tolva
- Tiempo de procesamiento
- Capacidad de la máquina

4.2.1 Resultados obtenidos en las pruebas.

Las pruebas se realizaron con granos de café (cereza madura), para lo cual se ha obtenido los siguientes resultados. (Ver tabla 13)

Tabla 13.

Pruebas de café

Velocidad angular w primaria (rpm)	Peso de la carga cereza madura (kg)	Tiempo de despulpado (min)	Pulpa de café (kg)	Desecho cascara de café (kg)
102	6,81	1	1,70	5,11
102	9,09	1,5	2,27	6,82
102	13,63	2	3,40	10,22

Nota: En esta tabla se muestran los resultados de las pruebas realizadas con la máquina despulpadora de café.

Elaborado por: Andrea Olarte

Análisis de resultados

Para la cereza de café se tiene una capacidad de producción de 400 kilogramos por hora.

4.3 Costos.

4.3.1 Generalidades.

Para la valoración de la máquina despulpadora de café se toma en cuenta los materiales, mano de obra, utilización de herramientas y taller los cuales se dividen en costos directos e indirectos.

Para el cálculo del costo directo, se considera:

- Materiales directos

- Elementos normalizados
- Costos de maquinado
- Costos de montaje (Defaz Pallasco & Tuza Cuzco, 2011)

Para el cálculo del costo indirecto, Tenemos:

- Materiales indirectos
- Gastos

El total de los costos directos e indirectos tendremos el valor de la máquina despulpadora de café.

4.3.2 Costos directos.

- Costos de materiales directos.

Es la materia prima para la construcción de la despulpadora de café.

Tabla 14.

Costos directos.

Material	Cantidad	Valor unitario (usd)	Valor total (usd)
Plancha acero inoxidable AISI 304 1220x2440x1 mm	1	262	262
Plancha acero inoxidable ASTM A36 50x50x6 mm, plancha utilizada (1/4 de plancha)	1	50,60	50,60
Eje cuadrado acero inoxidable AISI 304 Ø16 mm,L=326 mm	1	32,50	32,50
Varillas de acero inoxidable ASTM A36 Ø10 mm,L=285 mm	4	30,00	120,00
Eje cilindro fundición Ø10 mm,L=285 mm (8,35 kg)	1	58,45	58,45
Maquinado del cilindro	1	90,00	90,00
Castillos fundidos (6,5 kg)	2	45,50	91,00
Maquinado de los castillos	2	90,00	180,00
Pechero	1	197,85	197,85
Perfil tipo c (50x30x2)	2	6,00	12,00
Soporte del tambor	2	17,00	34,00
Soporte de pechera	2	15,00	30,00
Subtotal			1158,40

Nota: La tabla contiene los valores unitarios y totales de los elementos directos de la máquina.

Elaborado por: Andrea Olarte

4.3.3 Elementos normalizados.

Son aquellos elementos que se encuentran con facilidad en el mercado (venta libre).

Tabla 15.

Costos de elementos normalizados.

Material	Cantidad	Valor unitario (usd)	Valor total (usd)
Pernos de acero inoxidable AISI 304 M5x16, otros.	30	0,75	22,50
Motor monofásico ½ HP	1	80,00	80,00
Correa trapezoidal 13x8x1575	2	7,50	15,00
Polea de aluminio doble ranura Ø ext. = 2"	1	3,50	3,50
Polea de aluminio doble ranura Ø ext. = 14"	1	14,00	14,00
Subtotal			135,00

Nota: En esta tabla se encuentran los valores de los elementos normalizados valor unitario y valor total.

Elaborado por: Andrea Olarte

4.3.4 Costos de mano de obra.

Es el trabajo realizado por un operario utilizando máquina como: el torno, soldadura, taladro etc.

Tabla 16.

Costos de mano de obra.

Maquina	Costo mano de obra (usd/h)	Tiempo total de la obra (h)	Valor total (usd)
Torno	8,00	3	24,00
Soldadura	25,00	1	25,00
Dobladora	25,00	1/2	12,50
Taladro	15,00	1/2	7,50
Pintura	10,00	1	10,00
Subtotal			79,00

Nota: Tabla de costos de mano de obra, contiene el tiempo total de la obra y valor total.

Elaborado por: Andrea Olarte

4.3.5 Costo de montaje.

El costo de montaje se considera el ensamblaje de la máquina ya que operaron 4 personas en un día, con un costo de \$ 25 diarios cada trabajador es un total de \$ 100.

4.4 Costo total directo.

Tabla 17.

Costos total directo.

Costos	Valor total (usd)
materiales directos	1158,40
elementos normalizados	135,00
Mano de obra	79,00
Montaje	100,00
Subtotal	1472,40

Nota: Tabla que contiene la suma total directo.

Elaborado por: Andrea Olarte

4.5 Costos indirectos.

- **Costos de materiales indirectos.**

Son aquellos elementos utilizados para la realización de las partes de la máquina.

Tabla 18.

Costos de materiales directos.

Material	Cantidad	Valor unitario (usd)	Valor total (usd)
Electrodos/ Material de aporte	5	7,00	35,00
Guaype	25	0,05	1,25
Discos para pulir	1	7,50	7,50
Otros	-----	40,00	40,00
Subtotal			83,75

Nota: Tabla que contiene costo de los materiales indirectos, valor unitario y valor total.

Elaborado por: Andrea Olarte

4.5.1 Gastos Varios.

En gastos varios encontramos el pasaje de movilización de materiales aproximadamente 50 dólares.

4.6 Costo total indirecto.

Tabla 19.

Total indirecto.

Costos	Valor total (usd)
Materiales indirectos	83,75
Varios	50,00
Subtotal	133,75

Nota: Tabla de la suma total indirecta.

Elaborado por: Andrea Olarte

4.6.1 Valor total de la máquina.

Tabla 20.

Valor total.

Costos	Valor total (usd)
Directos	1472,40
Indirectos	133,75
Total	1606,15

Nota: Tabla de la suma total de los costos directos e indirectos.

Elaborado por: Andrea Olarte

4.6.2 Mantenimiento de los elementos de la máquina.

El mantenimiento de la despulpadora comprende de: la tensión de las bandas, transmisión de potencia, el eje primario y secundario.

Se recomienda para el mantenimiento considerar:

- Inspección
- Limpieza
- Ajustes

Inspección.

Se recomienda una inspección diaria de toda la máquina por si se encuentra alguna pieza dañada.

Durante el despulpado de los granos de café, se identifica que los granos están saliendo igual con cascara se requiere ajustar en los tornillos del pechero, para así ajustar al tamaño del grano a despulpar. De la inspección si vemos que hay partes rotas se deben reemplazar o reparar con el fin de que no se agrave el problema y haya un paro de la máquina.

Limpieza.

Todos sus componentes deben estar limpios y libres de polvos, grasas o residuos de pulpa, para evitar que los elementos pierdan sincronía, se desajusten o se dañen, por consiguiente generar algún daño en alguna pieza de la despulpadora.

En cuanto al eje y el cilindro estos deben ser limpiados constantemente para evitar problemas con la operación del despulpado.

En este proceso el operario debe estar monitoreando para que el despulpado sea satisfactoriamente.

La limpieza de la maquina debe ser después de cada proceso.

Ajustes.

Es recomendable revisar todos los tornillos de la despulpadora, debido a las vibraciones es posible que algunos se aflojen, si es así deben ser ajustados.

La tolva.

Se procede a sacarla de la máquina para su limpieza, es posible que queden residuos adheridos en la parte interna.

Tolva

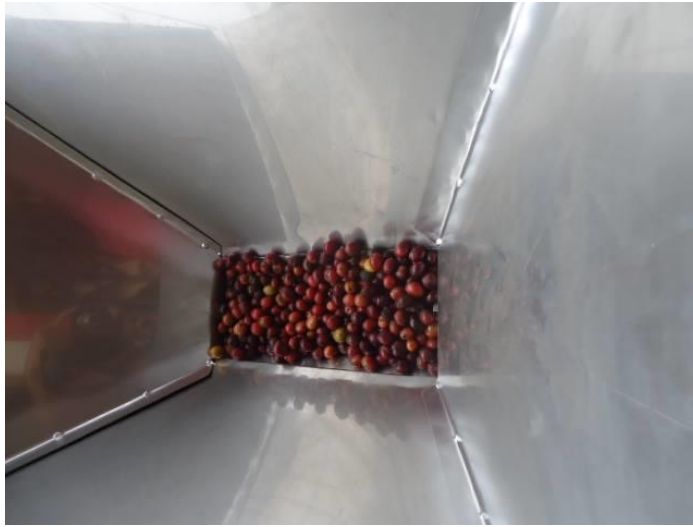


Figura 48. Imagen de la tolva de la despulpadora de café.

Elaborado por: Andrea Olarte

Bandas.

Las bandas deben estar en buen estado y bien tensadas con una revisión cada 80 horas de servicio. Con tensiones de $T_y = 380,27\text{N}$ y $T_z = 460,98\text{N}$

Bandas



Figura 49. Imagen de las bandas colocadas en las poleas.

Elaborado por: Andrea Olarte

Tambor.

Después del despulpado es necesario lavar con agua el tambor para que limpie los residuos de las cascaras del grano de café.

Tambor

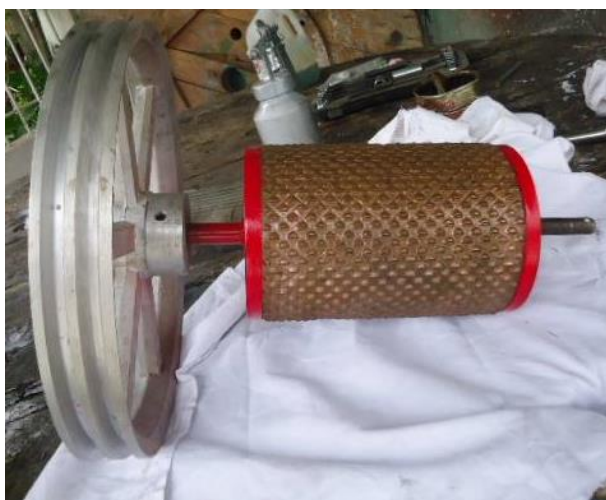


Figura 50. Imagen del tambor y polea ensamblada.

Elaborado por: Andrea Olarte

4.7 Manual de operación.

4.7.1 Introducción.

Como en toda máquina antes de su uso se debe revisar el manual de instrucciones.

Procedemos a llenar la tolva de cerezas de café, una vez cargada revisamos que se encuentre conectada para poder utilizarla. El mantenimiento de la máquina va de la mano con una buena operación de la misma.

Despulpadora de café



Figura 51. Imagen de la máquina despulpadora de café.

Elaborado por: Andrea Olarte

4.7.2 Seguridad.

La operación de la despulpadora de café requiere de precauciones para evitar accidentes.

- Revisar conexiones.
- Nunca se debe introducir las manos con la máquina en movimiento, así evitaremos posibles accidentes.
- El operario debe estar presente mientras la máquina este en operación.
- Para el mantenimiento todo el sistema eléctrico debe estar totalmente desconectado.

4.7.3 Verificación del grano y la máquina.

- Verificar que todos los granos de café estén en estado maduro (color rojo).
- Revisar que la máquina en especial la tolva se encuentre libre de sustancias y artículos extraños.
- Asegurarse de revisar todos los componentes de la despulpadora para así poder empezar a operar.

Inspecciones.

- Inspeccionar que se encuentre con una conexión de corriente eléctrica de 110 V.
- Observar que el interruptor se encuentre en posición off (apagado).
- Confirmar que la tolva cuente con suficiente granos de café (granos rojos) para comenzar el proceso.

Funcionamiento.

- Escoger los granos de café, separar los verdes de los maduros, a despulpar solo los rojos.

Granos maduros (Cereza)



Figura 52. Imagen de granos seleccionados cereza roja.

Elaborado por: Andrea Olarte

- Colocar los respectivos recipientes tanto para la pulpa como para la cáscara.
- Colocar los granos de café hasta el nivel de llenado de la tolva.
- Encender el interruptor
- Los granos de café bajaran al tambor y junto con el pechero se realizara el despulpado obteniendo por la parte de frente la pulpa y por detrás la cascara.

Despulpadora funcionando



Figura 53. Imagen de la máquina despulpadora funcionando.

Elaborado por: Andrea Olarte

Conclusiones

- El presente proyecto fue enfocado en la actividad que realizan los moradores del Recinto Estero de Plátano al sur de la Provincia de Esmeraldas, ellos se dedican a la agricultura y ganadería, uno de sus ingresos diarios es la venta de café (cereza) el cual se encuentra en el mercado a un precio bajo. Con el fin de aumentar su ingreso se implementó la máquina despulpadora.
- Se determinó que la capacidad de la maquina es de 400 kg/h, con dicha capacidad esta máquina está destinada a pequeñas y medianas empresas dedicadas a la cosecha de café.
- Para el rendimiento de la máquina se toma en cuenta los tiempos de pare por ajustes a la misma, mediante esto se estima un rendimiento del 95%.
- El costo de construcción resulta accesible para las pequeñas y medianas industrias, con respecto a otras máquinas importadas que se operan manualmente.
- La materia prima obtenida en el mercado nacional, hace que sea una máquina rentable para su comercialización.
- La operación de la máquina es sencilla ya que no necesita de personas especializadas para manejarla.

Recomendaciones

- Se recomienda una previa capacitación o información a los agricultores sobre el manejo y funcionamiento de la máquina para evitar accidentes a futuro.
- Al ingresar los granos de café a la tolva, se debe visualizar que no ingrese ningún elemento extraño, puede ocasionar daño a la máquina.
- Se debe tensar adecuadamente las bandas, para no tener inconvenientes en la operación.
- Para el mantenimiento de la maquina se debe seguir correctamente las indicaciones.
- Antes del proceso de despulpado se deben separar los granos maduros (rojos) de los granos verdes para obtener una mejor calidad del producto.
- Para disminuir las vibraciones y tener una mayor fijación de la máquina, es necesario que se encuentre en una superficie plana horizontal.

Referencias

- Asociacion Nacional del café. (2011, Marzo). *Anacafé*. Retrieved from Anacafé: https://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=13NOT:INT_Escuela_mexicana_cafe
- agricultura, I. i. (2010). *Guia para el beneficiado de cafe protegido bajo una indicacion geografica o denominacion de origen*. Guatemala.
- Andrade, F., Perez, F., Peralta, A., & Vargas, Y. (2014, Septiembre 27). Despulpadora de cafe. Barquisimeto, Venezuela.
- Arrizabalaga, N. L. (2004). *Maquinas Prontuario*. Madrid: Thomson Paraninfo.
- Baez Villacis, J., & Pupiales Brusil, L. (2015, Octubre). Diseño y construccion de un prototipo de cafe para el proyecto "Cafe de Quito". Quito, Ecuador.
- Botanica-online. (2015). *Caracteristicas del cafe*. Retrieved from <http://www.botanical-online.com/cafe.htm>
- Calero, & Roque. (1999). *Fundamentos de mecanismos y maquinas para ingenieros*. Madrid: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA DE ESPAÑA, S.A.V.
- Cooperación Alemana al Desarrollo -GIZ. (2013, Agosto). *energypedia*. Retrieved from CATALOGO DE MAQUINARIA PARA PROCESAMIENTO DE CAFÉ: https://energypedia.info/images/d/d1/Maquinaria_para_Caf%C3%A9.pdf
- Defaz Pallasco, E. M., & Tuza Cuzco, F. P. (2011, Enero). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA DESPULPADORA DE FRUTAS HORIZONTAL CON UNA CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN DE 250 Kg/h. Quito.

- DUNLOP. (2014). Correas de trasmision industrial. *Catalogo de correas de trasmision industrial*. Buenos Aires, Argentina.
- Ecuador, M. (2015). *Multicable*. Retrieved from <http://www.multicable.com.ec/index.php/productos/accesorios-crosby/poleas-mckissick>
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (2010). *Cafe de Colombia*. Retrieved from http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/sobre_el_cafe/el_cafe/el_cafe/
- Jumbo Jima, J., & Cabrera solorzano, A. (2010). Estudio de factibilidad para la implementacion de una empresa agroindustrial de cafe organico de altura. Loja, Ecuador.
- MVZ Tellez, S. (2002, Junio 20). *www.vaca.agro.uncor.edu*. Retrieved from <http://vaca.agro.uncor.edu/~pleche/material/Material%20II/A%20archivos%20internet/Maquinainstala/cap5.pdf>
- Norton, R. (2004). *Diseño de Maquina*. McGraw Hilla.
- Ortiz, J. (2012). *Las maquinas agricolas y su aplicacion*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Paredes Acevedo, E., & Fuentes, A. (2011, Febrero). Diseño y construccion de una maquina despulpadora de tempate para la generacion de biodiesel. El Salvador.
- Porras, & Soriano. (2013, Noviembre). *Cadenas*. Retrieved from <https://www.uclm.es/profesorado/porrasysoriano/elementos/Tema07.pdf>
- SIBONEY, C. (2013). *Especie Arabica vs RObusta*. Retrieved from <http://www.cafesiboney.com/loesencial/arabicavsrobusta/>
- Sotomayor, L. (2011). *Conteo regresivo hacia mayor calidad de leche*. Quito.

- UCLM. (2012, Julio 11). *Rugosidad de materiales*. Retrieved from <http://www.uclm.es/>
- VEGA. (n.d.). *www.vega.com*. Retrieved from <http://www.vega.com/es/1523.htm>
- Vidal, J. (2014). Detectando la mastitis con el CMT. *Infortambo*, 23-24.
- www.quiminet.com*. (2008, Mayo 02). Retrieved from <http://www.quiminet.com/articulos/principio-del-funcionamiento-de-las-bombas-de-paletas-28446.htm>
- Yunus, C., & Cimbalá, J. (2006). *Mecánica de fluidos y aplicaciones*. Mexico: Litográfica Ingramex.